

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
Кафедра «Технологии машиностроения и промышленной робототехники»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Снижение остаточных напряжений в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах пластическим растяжением

УДК 539.319:621.961:620.172.21

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю.	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	Кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Ю.М.	Доктор технических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТМСПР	Вильнин А.Д.			

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	
Профессиональные компетенции		
P1	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении	
P2	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения	
P3	Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать	
P5	Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа	
Общекультурные компетенции		
P6	Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства	
P7	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.	

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»

Кафедра «Технологии машиностроения и промышленной робототехники»

УТВЕРЖДАЮ:

И.о.зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) Вильнин А. Д.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Солоха Александру Игоревичу

Тема работы:

Снижение остаточных напряжений в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах пластическим растяжением	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	15.05.2017, №3144/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является – процесс дорнования толстостенных цилиндров с последующим снижением остаточных напряжений за счет пластического растяжения Задача: исследовать возможность снижения остаточных напряжений в обработанных дорнованием цилиндрах пластическим растяжением с малыми деформациями
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор литературы и задачи исследования 2. Методика проведения экспериментальных исследований 3. Результаты исследований 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность
Перечень графического материала	Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Исследовательский	Арляпов А.Ю.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Федорчук Ю.М.
Исследовательский (на немецком яз.)	Прохорец Е.К.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арляпов А.Ю	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, пяти глав и выводов, изложенных на 97 страницах, содержит 29 рисунков, 25 таблиц, 21 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: дорнование отверстий, остаточные напряжения, толстостенные цилиндры, точность отверстий.

Объектом исследования является процесс дорнования.

Цель работы – заключается в разработке способа снижения остаточных напряжений при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах пластическим растяжением с малыми деформациями.

В процессе исследования проводились эксперименты по снижению остаточных напряжений при дорновании толстостенных цилиндров с осевым пластическим растяжением с деформацией равной 0,5%, 1% и 1,5%, а также эксперимент по влиянию повторного дорнования на остаточные напряжения и точность отверстий. Предварительно, перед основным экспериментом, оценивали влияние электроэрозионной обработки на остаточные напряжения. По ходу эксперимента было сконструировано приспособление для растяжения образцов с буртами.

В результате исследования установилось:

- 1) электроэрозионная обработка практически не оказывает влияния на остаточные напряжения.
- 2) наиболее рационально применять дорнование в сочетании с осевым пластическим растяжением с деформацией не более 0,5%.
- 3) наилучшая точность обработанных отверстий получается при повторном дорновании с суммарным натягом 0,37%, точность отверстия соответствует шестому качеству точности.

Область применения: машиностроение.

Экономическая эффективность/значимость работы: дорнование отверстий в толстостенных цилиндрах является одним из наиболее

эффективных методов их обработки. Обладает высокой производительностью, позволяет достичь высокой точности отверстий, получить малую шероховатость их поверхности, упрочнить поверхностный слой, сформировав в нем благоприятные сжимающие остаточные напряжения.

Однако в ряде случаев величина этих напряжений оказывается нежелательно высокой, что ограничивает область применения дорнования. В связи с этим поиск путей снижения остаточных напряжений при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах является актуальным для современного машиностроения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ.....	5
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	9
1.1. Технологические возможности процесса дорнования.....	9
1.2. Точность и форма наружных и внутренних поверхностей.....	19
1.3. Остаточные напряжения при дорновании.....	20
1.4. Цель и задачи исследования.....	26
2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	27
2.1. Изготовление образцов, условия экспериментов и технологическая оснастка.....	27
2.2. Измерение размеров образцов.....	37
2.2.1 Измерение наружных и внутренних размеров поверхностей детали.....	37
2.2.2 Измерение остаточных напряжений детали.....	39
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
3.1. Определение остаточных напряжений после дорнования.....	42
3.2. Определение остаточных напряжений после повторного дорнования	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	48
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	50
4.1. Введение	50
4.2. Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования.....	52
4.3. Снижение остаточных напряжений при дорновании толстостенных цилиндров.....	52
4.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	53

4.5 SWOT-анализ.....	55
4.6 Инициация проекта.....	59
4.7 Цели и результаты проекта	59
4.8 Организационная структура проекта	60
4.9 Ограничения и допущения проекта.....	61
4.10 План проекта.....	61
4.11 Оценка научно-технического уровня НИР	66
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	72
5.1. Введение	72
5.2. Анализ опасных и вредных факторов	73
5.3. Макроклимат.....	74
5.4. Вредные вещества и вентиляция производственных помещений..	75
5.5. Производственный шум	76
5.6. Освещение	77
5.7. Электробезопасность	79
5.8. Пожаровзрывобезопасность.....	80
5.9. Экологичность.....	82
5.10. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	83
5.11. Законодательные акты.....	84
5.12. Графические материалы	84
Список используемых источников.....	85
Приложение А Раздел на иностранном языке.....	87
Приложение Б Комплект конструкторской документации	97

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Технологические возможности процесса дорнования

В настоящее время интенсивно развивается сравнительно новое направление повышения точности и надежности машин за счет увеличения прочности, износостойкости рабочих поверхностей деталей которое достигается упрочнением поверхностного слоя металла.

Дорнование – поверхностное пластическое деформирование при поступательном скольжении дорна по охватывающей его поверхности деформируемого материала [2]. При дорновании дорн проталкивается (протягивается) через обрабатываемое отверстие, диаметр которого несколько меньше диаметра дорна. Из-за пластических деформаций диаметр обработанного отверстия увеличивается, деформированный слой металла получает упрочнение, поверхностные неровности сглаживаются, точность обработанного отверстия повышается. Дорнование относится к размерно-упрочняющим методам обработки, чаще применяемым в условиях серийного и массового производств. Дорнование частично устраняет овальность и конусность отверстия. Процесс дорнования проходит без полирующих и доводочных материалов, следовательно, после дорнования обработанная поверхность не будет заражена абразивными зернами, нежелательными при эксплуатации деталей [3].

Процесс дорнования является наиболее эффективным методом обработки полых цилиндров, не требует дорогостоящей специальной оснастки или оборудования, и по сути упрощает и удешевляет процесс производства деталей данного типа [3].

В процессе дорнования трубчатых заготовок припуск не удаляется из отверстия, как при обработке резанием, а частично перемещается в сторону наружной поверхности заготовки, что приводит к увеличению ее наружного и внутреннего диаметров. [4].

Рабочая часть дорна состоит из рабочего конуса, осуществляющего пластическое деформирование металла детали, обратного конуса, обеспечивающего плавный выход зуба дорна из очага пластической деформации, и цилиндрической ленточки, соединяющей эти конусы, которая устанавливает диаметр обработанного отверстия. Оптимальное значение углов рабочего и обратного конусов принимаются равными, и их значения составляют $6...10^\circ$. Ширина цилиндрической ленточки берется из интервала – $0,1...3$ мм. [6]

Рабочая часть дорна в зачатку имеет гладкую поверхность ($Ra = 0,01...0,08$ мкм), формируемую методами финишной обработки (полированием, доводкой)

Наиболее целесообразно использовать твердые сплавы в качестве материала для изготовления дорна. Это позволяет обеспечить высокую стойкость инструментов, улучшить качество обработанной поверхности и зачастую устранить крайне нежелательные явления схватывания инструментального и обрабатываемого материалов. Наиболее применяемыми являются инструменты из твердых сплавов группы ВК (ВК8, ВК6, ВК15, ВК20). Также применяются твердосплавные и стальные инструменты, покрываемые нитридом хрома (CrN) и нитридом титана (TiN), увеличивающие износостойкость [6].

При дорновании глубоких отверстий малого диаметра необходимо использовать специальное приспособление. Оно должно обеспечивать поддержание подвергающегося продольному изгибу толкателя и минимальный уровень действующих на дорн изгибающих нагрузок, а также позволять использовать комплект дорнов, необходимый для обеспечения качества и высокой точности поверхности отверстия [2].

Схема приспособления для дорнования, выполненная с призматическими направляющими для толкателя дорна показана на рис.1.1. Оно состоит из основания 1, в которое установлены две оси 2. На этих осях

установлены две опорные плитки 3 и 4 между которыми зажата заготовка 5. В плитке 3 имеется отверстие с запрессованной в него втулкой 6.

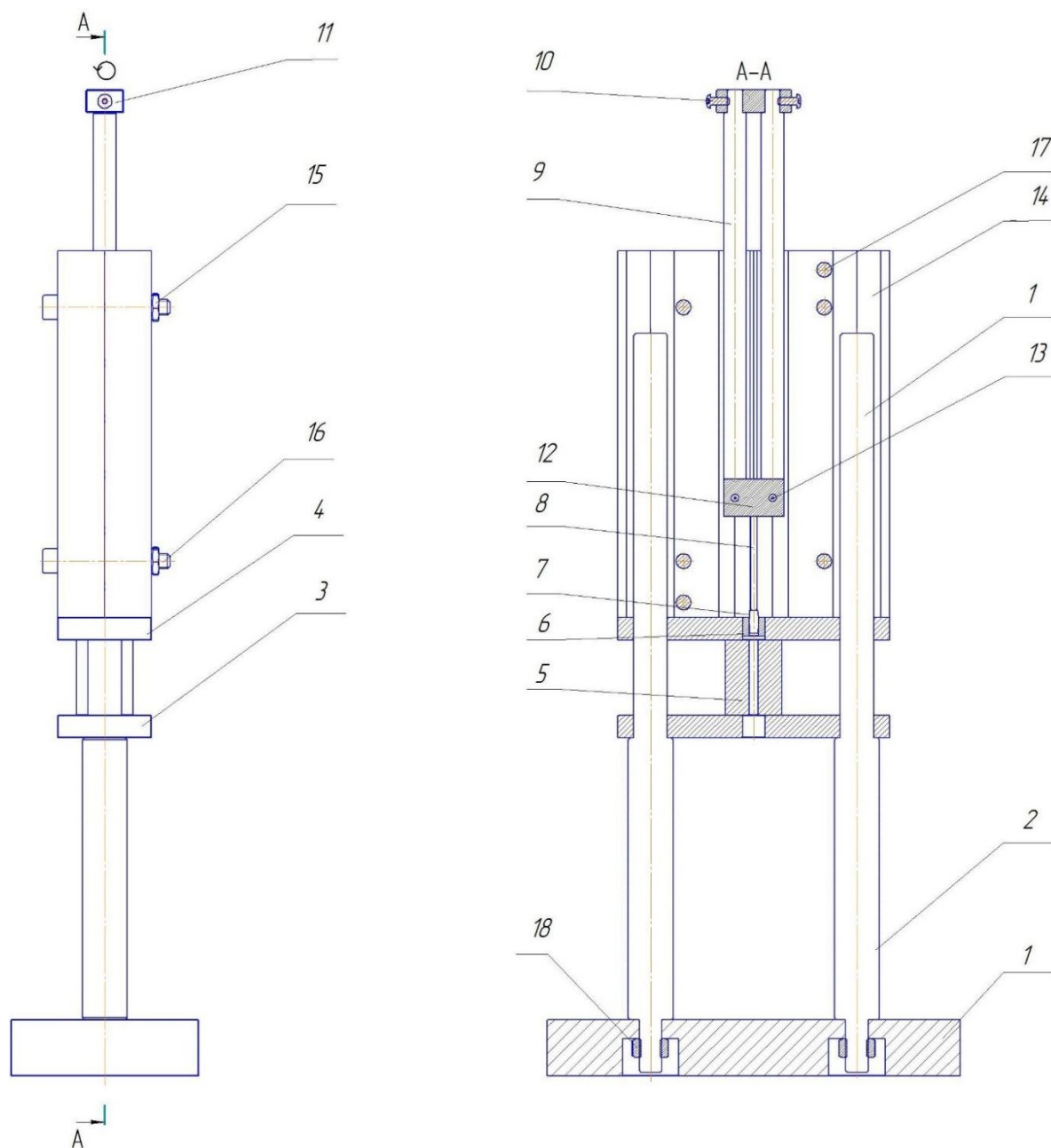


Рисунок 1.1 – Приспособление для дорнования глубоких отверстий малого диаметра с призматическими направляющими для толкателя

В отверстии втулки с натягом размещен дорн 7 и с зазором – толкатель 8. Толкатель 8 поддерживается узлом, состоящим из двух скалок 9, жестко соединенных между собой траверсой 12 и перекладиной 11, которые крепятся болтами 10 и 13. На осях 2 установлены направляющие плиты 14 соединённые

между собой штифтами 17, болтами 15 и гайками 16. В плоскости разъема этих плит выполнены три центральных сквозных призматических паза, для направления толкателя 8 и направляющих его скалок 9, а также симметрично расположенные относительно него сквозные призматические пазы по краям для закрепления плит 14. Траверса 12 запрессована в пазы, находящиеся на нижних концах скалок 9, она размещена в зазоре между плитами 14 для того чтобы беспрепятственно взаимодействовать с толкателем 8. В траверсе 12 имеется Т-образный паз, в котором размещается толкатель за счет поперечины. В верхней части скалки 9 запрессованы в перекладину 11.

Работает приспособление следующим образом: заготовка 5 устанавливается на плитку 3. Во время перемещения штока прессы и перекладины 11 вниз, также вниз по пазам перемещаются скалки 9 соединяемые траверсой 12, которая перемещает толкатель 8. Толкатель проталкивает дорн 7 через отверстие втулки 6, которая, в свою очередь, направляет дорн 7 в отверстие заготовки 5. Во время перемещения штока прессы вверх траверса 12 воздействует на поперечину толкателя возвращает его в начальное положение. Дорн 7 устанавливается в направляющую втулку 6 и цикл дорнования повторяется.

Основными следует считать следующие технологические параметры процесса дорнования: натяг a , относительный натяг, скорость дорнования, м/мин и геометрические характеристики дорна (углы заборного конуса и ширина ленточки), механические свойства материала детали (твердость, предел текучести, упругая деформация) и применяемый смазочный материал.

Если руководствоваться традиционными рекомендациями по выбору режимов дорнования отверстий в толстостенных заготовках, то суммарные натяги обрабатываемых отверстий диаметром 1...3 мм не должны превышать 0,01...0,03 мм. Т.е., точность отверстий перед дорнованием, должна соответствовать 7...9 квалитетам. Практика показывает то, что при окончательной обработке дорнованием (стальными прошивками) отверстий диаметром $2,2^{+0,01}$ мм и $3^{+0,01}$ мм в толстостенных цилиндрах, изготовленных

из бронзы и легированной стали суммарные натяги, могут составлять 0,1 мм, что в несколько раз больше рекомендуемых. Также дорнование отверстий может быть выполнено непосредственно после сверления спиральными сверлами [7].

Основными параметрами режима дорнования являются натяг на зуб или за цикл a и суммарный натяг Σa . Суммарный натяг Σa устанавливается разностью между диаметром дорна и диаметром обрабатываемого отверстия.

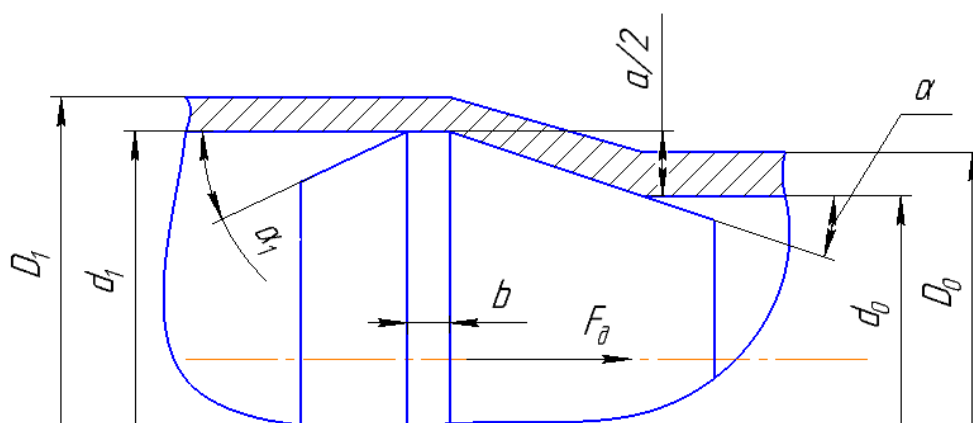


Рисунок 1.2 – Схема дорнования

d_0 – диаметр отверстия заготовки; d_1 – диаметр дорна;

D_0, D_1 – диаметр детали до и после дорнования;

a – натяг на дорн; α, α_1 – передний и задний углы дорна;

b – ширина цилиндрической ленточки.

При изменении скорости дорнования в пределах 1...30 м/мин её влияние на энергосиловые параметры оказывается незначительно [8].

Дорнование ведется с обязательным применением смазочного материала, который позволяет уменьшить деформирующее усилие, повысить качество и точность обрабатываемого отверстия и устранить схватывание инструмента с деталью. При работе с углеродистыми и малолегированными конструкционными сталями рекомендуется применять СОЖ на масляной основе МР-1, МР-2, МР-3, МР-7. Медные сплавы хорошо обрабатываются с некоторыми сортами минеральных масел или с эмульсиями. При дорновании

отверстий в деталях из нержавеющей, высоколегированных сталей используются специальные СОЖ на основе эпоксидных смол и твердых наполнителей типа графита, нитрид бора, дисульфида молибдена и др. [7].

На рисунке 1.3 показаны различные виды дорнов:

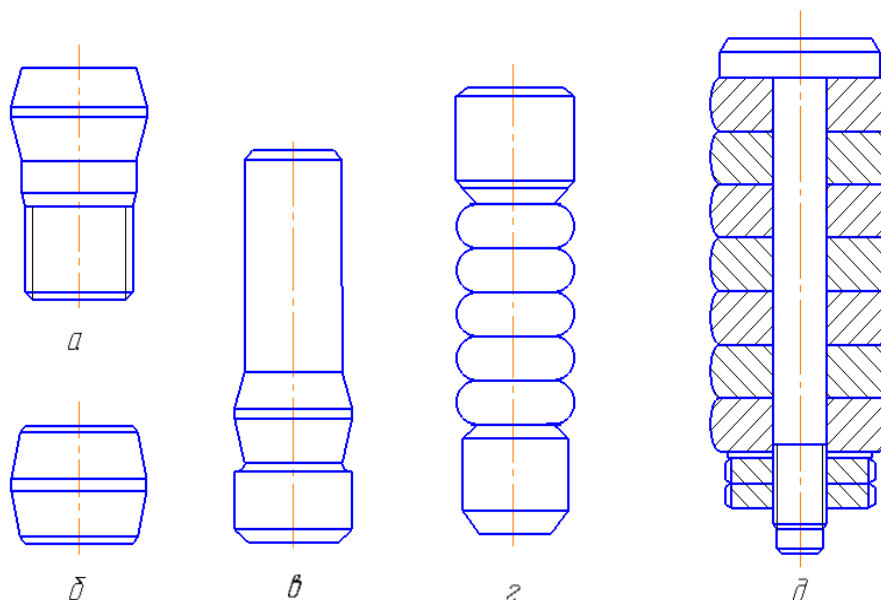


Рисунок 1.3 – Виды дорнов: *а* – однозубый дорн с хвостовиком (для протяжного станка); *б* – однозубый дорн без хвостовика (для прессы); *в* – однозубый с направляющим хвостовиком; *г* – многозубый с направляющим хвостовиком; *д* - наборный

При дорновании однозубым дорном по схеме сжатия заготовка устанавливается на неподвижную опору, дорнование производится со стороны свободного торца. По сравнению с другими схемами дорнования характеризуется наименьшим утонением стенки и наибольшим укорочением заготовки [2].

Дорнование однозубым дорном по схеме растяжения производится со стороны опорного торца. Схема предпочтительнее предыдущей за счет повышения точности обработанного отверстия заготовки, характеризуется наибольшим утонением стенки и минимальным укорочением заготовки [2].

Дорнование с противонапряжением осуществляется с помощью специального натяжного устройства, обеспечивающего определенный уровень осевых напряжений в стенках заготовки. Натяжение заготовки существенно изменяет условия деформирования. Схема дорнования с противонапряжением используется с целью получения заданной толщины стенки за счет управления деформациями [2].

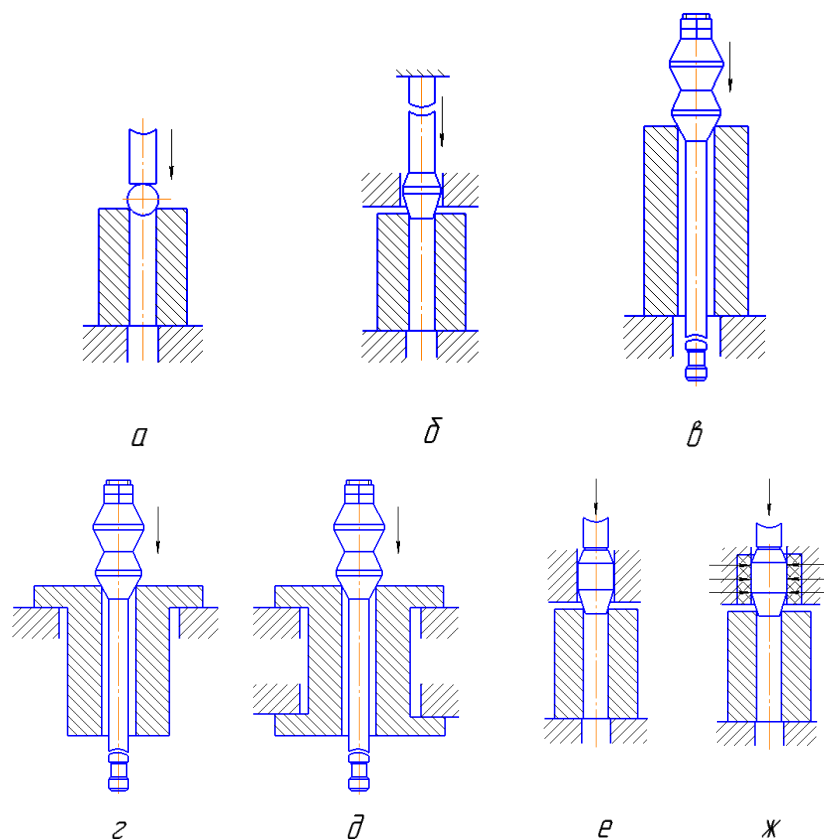


Рисунок 1.4 – Дорнование отверстия: *а* – шаром (схема сжатия);
б – однозубым дорном-прошивкой с жестким закреплением дорна (схема сжатия); *в* – многозубым дорном-протяжкой (схема сжатия);
г – многозубым дорном-протяжкой (схема растяжения);
д – многозубым дорном-протяжкой (с осевым заневоливании детали);
е – однозубым дорном-прошивкой при продвижении с помощью толкателя, расположенного с зазором в направляющей втулке (с сжатием заготовки); *ж* – однозубым дорном-прошивкой при продвижении с помощью толкателя, расположенного с натягом в направляющей втулке (с сжатием заготовки)

Наиболее простой и предпочтительной для применения является схема сжатия, которая при высокой жесткости деталей может быть использована вплоть до $L/d=100$. Схему растяжения используют при дорновании деталей типа трубок. Эта схема обеспечивает меньшее отклонение от прямолинейности оси отверстия, чем схема сжатия [2].

Как показывает опыт, многозубые протяжки и прошивки редко используются для обработки малых и глубоких отверстий, т.к. за счет низкой прочности и жесткости обработка отверстия становится невозможной, т.к. изгибающие силы приводят к поломке инструментов.

При дорновании отверстий малого диаметра ($d = 1...3$ мм) могут применяться твердосплавные, а также стальные и шарики. Твердосплавные шары обладают такими преимуществами, как высокая прочность, стойкость и точность формы. Но, для изготовления шаров применяется специальное оборудование. Недостатком шаров при дорновании отверстий малого диаметра, является то что работать можно только с малыми натягами. Чтобы углы контакта шара диаметром 2 мм с заготовкой были не более 10° , натяг не должен превышать 0,03 мм. При увеличении натяга, возможно образование нароста, что для процесса дорнования является недопустимым. Также недостатком при дорновании шарами, может явиться искривление оси обрабатываемого отверстия [8].

При дорновании отверстий диаметром $d = 2,6...3,0$ мм применяются многозубые консольно закрепляемые стальные прошивки, которые в несколько раз более производительней однозубых инструментов [8]. Но у консольно закрепляемых стальных прошивок есть существенные недостатки, такие как: максимальная глубина отверстия должна быть не более ($L/d \leq 8$), и присутствие обратного хода, во время которого происходит дополнительный износ прошивок. Еще один недостаток таких прошивок, то что даже при хромировании рабочих поверхностей, прошивки обладают низкой размерной стойкостью [10].

Значительно более эффективны твердосплавные прошивки, обладающие высокой размерной стойкостью, проталкиваемые через обрабатываемое отверстие с помощью толкателя. Но, для дорнования глубоких отверстий малого диаметра наиболее целесообразно применять однозубые твердосплавные прошивки, перемещаемые с помощью толкателя.

С увеличением степени толстостенности обрабатываемых заготовок суммарные натяги дорнования рекомендуется снижать. Дорнование позволяет достичь снижение исходной шероховатости, интенсивное упрочнение поверхностного слоя, а при дорновании в режиме сквозной пластичной деформации - упрочнении всей заготовки. Шероховатость поверхности после дорнования зависит от ряда факторов: общего натяга и схемы его распределения по зубьям дорнов, исходной шероховатости, толщины стенки заготовки и ее конструктивных особенностей. Общий натяг и его распределение на зубья дорна, определяют контактные напряжения, оказывают наиболее существенное влияние на шероховатость поверхности. С ростом a (общий натяг дорнования), высота микронеровностей снижается. Вследствие этого дорнование многозубым инструментом в сравнении с однозубым гарантирует получение более качественной поверхности [4].

Основные преимущества процесса дорнования трубчатых заготовок как одного из методов размерно-упрочняющей обработки:

- кинематическая простота схемы обработки, осуществляется за счет осевого перемещения инструмента или заготовки;
- высокая производительность процесса, за счет высокой скорости дорнования 1...30 м/мин.
- требуемый размер можно получить за один проход инструмента повысив точность обработанного отверстия в 10-25 раз, что практически невозможно при применении других методов поверхностно-пластического деформирования (ППД);

- шероховатость обработанной, упроченной поверхностей сопоставима с шероховатостью, обеспечиваемой на финишных операциях обработки отверстий [10].

К недостаткам процесса дорнования относятся:

- деформация наружных поверхностей, при последующей обработке резанием за счет высоких остаточных напряжений, сформированных в процессе дорнования.

- снижение точности наружных поверхностей деталей [10].

Дорнование снижает трудоемкость обработки отверстий примерно в 2-4 раза, уменьшает расход материала (бесшовных труб) на 15...30%, повышает долговечность обработанных деталей. Процесс обработки осуществляется либо на протяжных станках, либо на гидропрессах [4].

Дорнование широко используется при ремонте изношенных деталей: штоков гидроцилиндров, поршневых пальцев двигателей внутреннего сгорания, карданных валов, крестовин и др. Для повышения эксплуатационных характеристик обработанных деталей и снижения расходов на инструмент, дорнование комбинируют с режущим протягиванием в различных сочетаниях [8].

С помощью дорнования можно обрабатывать отверстия в деталях типа втулок и гильз, изготавливаемых из бесшовных труб. Обработка состоит в следующем: через пустотелую заготовку с внутренней поверхностью, предварительно очищенной от коррозии, протягивают дорн с увеличивающимися диаметрами рабочих и калибрующих зубьев. Под влиянием внутреннего давления деталь пластически деформируется до нужного размера. Этот метод исключает предварительную обработку. За один-два прохода можно получить весьма точные и чистые отверстия. Одновременно происходит упрочение металла. Это дает дорнованию важное технико-экономическое преимущество перед другими технологическими процессами [11].

Большую группу изделий имеющие отверстия малого диаметра, для обработки которых целесообразно применять дорнование, образуют толстостенные детали. Например: кондукторные втулки с отверстиями диаметром $d = 0,19 \dots 3,4$ мм глубиной $L = (4 \dots 16)d$ (ГОСТ 15362-73); токоподводящие наконечники для сварки плавящимся электродом в защитных газах из медных сплавов с отверстиями диаметром $d = 0,95 \dots 2,65$ мм глубиной $L = (10 \dots 40)d$; некоторые детали медицинских приборов, в частности, волноводы ультразвуковых «скальпелей» с отверстием диаметром $d = 2$ мм глубиной $L = (50 \dots 100)d$ и другие [12].

Проведенный анализ литературы показал, что обработка точных глубоких отверстий малого диаметра ($d = 1 \dots 3$ мм) остается сложной и трудоемкой. С уменьшением диаметра и увеличением глубины отверстий, возрастают трудности их обработки. Наиболее широкое применение для окончательной обработки отверстий нашли притирка и развертывание, которые не всегда способны обеспечить предъявленные к отверстиям требования по точности и качеству, что снижает эксплуатационные свойства деталей.

1.2 Точность и форма наружных и внутренних поверхностей

Поле рассеяния диаметральных размеров отверстий в партии заготовок определяется комплексом условий. Поэтому расчет точности отверстия при дорновании основан на изучении элементарных погрешностей и их суммировании. Элементарные погрешности образуются в поперечных и продольных сечениях. Часть погрешностей являются наследственными, образование других связано с особенностями деформирования [11].

Влияние большинства параметров на точность связано с их естественными отклонениями случайного происхождения, в частности: толщины стенки, исходной твердости, натяга дорнования, высоты волны внеконтактной деформации, осевых напряжений, тепловых деформаций, диаметра инструмента и его износа, формы отверстия заготовки [11].

Погрешность формы отверстия заготовки в поперечных сечениях в целом можно определить, как отклонение от округлости. Данная погрешность зависит от исходной разностенности заготовки.

Изогнутость оси отверстия в основном связана с эксцентриситетом цилиндрических поверхностей заготовки, благодаря которому в ее продольных сечениях образуется момент внутренних сил, вызывающий упругий изгиб после прохода дорна.

При дорновании трубных заготовок точность полученного отверстия соответствует 10 - 12 качеству. Погрешности увеличиваются пропорционально размерам заготовок, поэтому точность малых отверстий после дорнования выше. Относительно большую долю поля рассеяния образуют отклонения формы поперечных сечений. Для повышения точности отверстий применяют калибрующие зубья с углами заборного конуса в пределах $3...5^\circ$. Ширина цилиндрической ленточки на точность отверстия при многозубом дорновании не оказывает [4].

1.3 Остаточные напряжения при дорновании

Остаточные напряжения являются значительным параметром для определения качества изделия, полученными обработкой давлением в результате пластического деформирования. Остаточные напряжения могут достигать величины соизмеримой с пределом текучести, и прочности металла, это может привести к разрушению конструкции в первые часы работы при малых эксплуатационных нагрузках.

Опыт эксплуатации конструкций в различных областях техники и результаты многочисленных экспериментов показывают, что остаточные напряжения (ОН) существенно влияют на долговечность и надежность техники. Остаточные напряжения влияют на статическую и динамическую прочность, а также коррозионную прочность изделий. В начальный период эксплуатации машин и механизмов, изготовленных из деталей и узлов,

имеющих ОН, в результате взаимодействия эксплуатационных нагрузок и остаточных напряжений изменяются форма и размеры деталей [3].

Если после дорнования отверстий цилиндров удаляются значительные припуски при дальнейшей обработке, то в связи с перераспределением остаточных напряжений происходят деформации и как следствие снижение точности обработанного отверстия. Также, потеря точности возможна из-за релаксации остаточных напряжений со временем. Во время анализа литературы выяснилось, что остаточные напряжения в изделиях простой геометрической формы эффективно снижаются методом пластического растяжения с малыми деформациями, который в отличие от отжига сохраняет механические свойства металла и исходную структуру [13].

Различают макро-, микро-, и ультрамикроскопические остаточные напряжения (соответственно напряжения первого, второго и третьего рода).

Причины происхождения этих напряжений могут быть разделены на:

1. Временные напряжения, они исчезают после удаления их причин. Тепловые напряжения вызываются различием температур в различных областях тела и исчезающие после уравнивания температур (или становятся остаточными при выходе за пределы текучести).

2. Остаточные напряжения, остающиеся в металле после удаления вызванных их внешних причин:

- 2.1. Напряжения первого рода, уравнивающиеся в областях, соизмеримых с размерами тела. Вызываются неоднородностью материального, температурного или силового поля внутри тела.

- 2.2. Напряжения второго рода – уравнивающиеся в объемах, размеры которых одного порядка с размерами зерен.

- 2.3. Напряжения третьего рода – уравниваются в объемах одного порядка с элементарной кристаллической ячейкой [13].

Известно, что внутренние напряжения, взаимно уравнивающиеся в различных зонах тела, возникают почти при всех технологических операциях механической, термической обработки и при закалке, обработке давлением,

прокатке, сварке, литье, при нанесении гальванических покрытий, при многих видах обработки резанием и др. [13].

Поэтому полное отсутствие внутренних напряжений в современных деталях встречается гораздо реже, чем их наличие, и поэтому важность их изучения несомненна. [13].

Контроль величины и распространения остаточных напряжений совершенно необходим для последующего устранения и уменьшения вредных растягивающих остаточных напряжений на поверхности или наилучшего использования полезных сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое [13].

Н.Н. Давиденков в своих работах перечисляет случаи, когда напряжения первого рода в практической службе изделий оказываются вредными:

1. Коробление (искажение формы) изделия вследствие релаксации остаточных напряжений из-за пластической деформации.
2. Понижение предела упругости
3. Растрескивание вследствие коррозии
4. Хрупкие разрывы
5. Понижение предела выносливости

В настоящее время наиболее часто используются механический и рентгенографический метод определения внутренних напряжений [14].

Методы рентгеновского исследования обладают высокой точностью и позволяют измерять абсолютное значение напряжений не сравнивая исследуемый с ненапряженным образцом, сохраняя образец исследования в целостности. Недостатком данного метода является невозможность определения напряжений первого рода при наличии значительных напряжений второго рода из-за размытости линий на рентгенограммах, а также определение деформации только в поверхностном слое является существенным недостатком метода. Рентгенографическое определение внутренних напряжений основано на изменении межатомных расстояний, которые изменяются под действием этих напряжений [14].

Применяются также механические методы определения деформаций металла, вызываемые остаточными напряжениями

По характеру и величине деформации металла рассчитывают характер и величину остаточных напряжений. Большое практическое применение из механических методов получили методы Г. Закса и Н.Н. Давиденкова.

В методе Давиденкова образец разрезают по образующей и измеряют происходящие при этом изменения диаметра. Удаляя с поверхности образца (снаружи или изнутри) последовательно слои металла небольшой толщины, измеряют, как и при разрезке, происходящие при этом деформации по диаметру. В результате находят полное (суммарное) напряжение любого слоя по сечению образца (кольца) в виде суммы трех составляющих [11]:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad (1.1)$$

где σ_1 – напряжение, удаляемое в рассматриваемом слое в результате разрезке образца по образующей;

σ_2 – напряжение, удаляемое одновременно с удалением слоя;

σ_3 – напряжение, снятое в слое при удалении всех предыдущих слоев.

Вырезка части детали эквивалентна приложению в торцевых сечениях распределенных моментов, создаваемых обратными осевыми напряжениями (рис. 1.5):

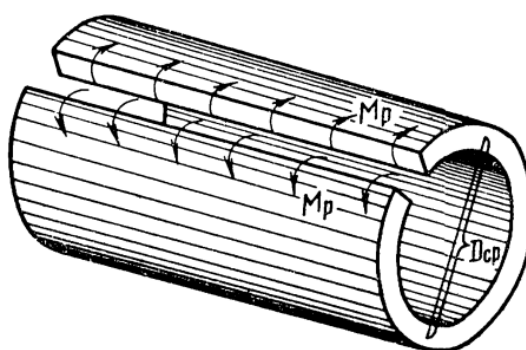


Рисунок 1.5 - Определение дополнительных напряжений при разрезке детали вдоль образующей

Для приближенной оценки часто ограничиваются величиной напряжения σ_1 полученной по формуле [11]:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{1}{D_c-2\gamma} \cdot \left(\frac{-\frac{t}{2}+b+\gamma}{-\frac{t}{2}+b+\frac{D_c}{2}} \right) \cdot \Delta D_c \quad (1.2)$$

где E – модуль упругости материала образца, МПа;

μ – коэффициент Пуассона материала образца;

D_c – диаметр срединной поверхности образца, мм;

γ – расстояние от нейтральной оси сечения стенки образца до центра его тяжести, мм;

t – толщина стенки образца, мм;

b – расстояние от рассматриваемой точки до внутренней поверхности образца, мм;

ΔD_c – приращение диаметра срединной поверхности образца при его разрезке вдоль образующей, мм.

Остаточные напряжения по методу Давиденкова находят по изменению расстояния между точками нанесенными на торцевую поверхность отпечатками конического индентора. Эти отпечатки выполняют на срединном диаметре. Расстояние между отпечатками измеряли на микроскопе с ценой деления 0,001 мм.



Рисунок – 1.6 Общий вид микроскопа

Метод Закса является наиболее точным способом определения остаточных напряжений (из механических методов) в сплошных и

толстостенных цилиндрах. Сущность способа заключается в послойном разрезании изделия с измерением длины и диаметра цилиндра после каждого снятого слоя. При этом определяется относительное изменение длины и наружного диаметра цилиндра. Метод Закса позволяет определить одновременно окружные, осевые и радиальные напряжения [14].

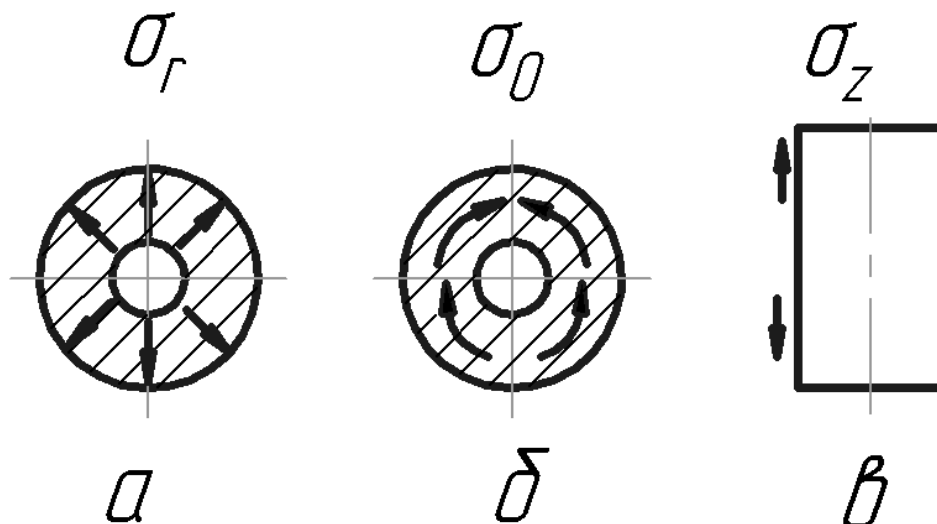


Рисунок 1.7 – Направления: *a* – радиальных напряжений *б* – окружных напряжений; *в* – осевых напряжений

Из литературы установлено, что значительную роль в улучшении долговечности изделий, работающих на изгиб и кручение, играют сжимающие ОН в поверхностном слое, возникающие в результате упрочняющей обработки. Если действительное напряжение на поверхности детали ниже предела текучести, сжимающие ОН будут уменьшать значение растягивающих напряжений от внешних нагрузок, благоприятствуя повышению ресурса при динамических и циклических нагрузках. Если внешние нагрузки суммарно с сжимающими ОН достигают предела текучести, совершается пластическая деформация, вследствие которой снижается уровень ОН в поверхностном слое или полностью удаляется [8].

Остаточные напряжения зависят от степени толстостенности деталей D/d и режимов дорнования ($\Sigma a, a$), а также механических свойств материала. Наибольшими по величине являются окружные остаточные напряжения,

которые в отдельных случаях могут быть близки к пределу текучести металла и даже превышать его. Осевые и радиальные остаточные напряжения гораздо меньше окружных. Чтобы обеспечить у поверхности отверстия полезные, при эксплуатации окружные остаточные напряжения сжатия, дорнование нужно выполнить с малыми натягами на последних зубьях дорна [8].

1.4 Цель и задачи исследования

Цель исследовательской работы заключается в разработке способа снижения остаточных напряжений при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах.

Для реализации исследовательской работы при дорновании отверстий малого диаметра необходимо решить следующие основные задачи:

- Исследовать возможности снижения остаточных напряжений в обработанных дорнованием цилиндрах пластическим растяжением с малыми деформациями;
- Оценить влияние электроэрозионной обработки на остаточные напряжения.
- Исследовать влияние пластического растяжения после дорнования на точность отверстий, а также установить влияние повторного дорнования на остаточные напряжения и точность обработанных отверстий.
- Разработать приспособление с гидроцилиндром для растяжения цилиндрических образцов с буртами, способное развивать осевую пластическую деформацию от 0% до 2%, так как приспособление, применяемое на кафедре, является ручным и не позволяет контролировать усилие пластического растяжения.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Изготовление образцов, условия экспериментов и технологическая оснастка

Эксперименты проводили на образцах типа полых цилиндров, в качестве материала была выбрана сталь 20 ГОСТ 1050-88.

Таблица 2.1 - Химический состав стали 20 в % по ГОСТ 1050-88

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.19	0.24	0.5	до 0.25	до 0.04	до 0.04	0.12	до 0.25	до 0.08

Таблица 2.2 - Механические характеристики стали 20

Данные	Температура испытания, °C	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	НВ, МПа
ГОСТ 1050-88	20	280	430	34	163

Диаметр отверстий образцов составлял $d = 5$ мм, наружные диаметры образцов D составляли 15 мм, что соответствует степеням толстостенности $D/d=3$. Длина образцов L была принята равной 50 мм.

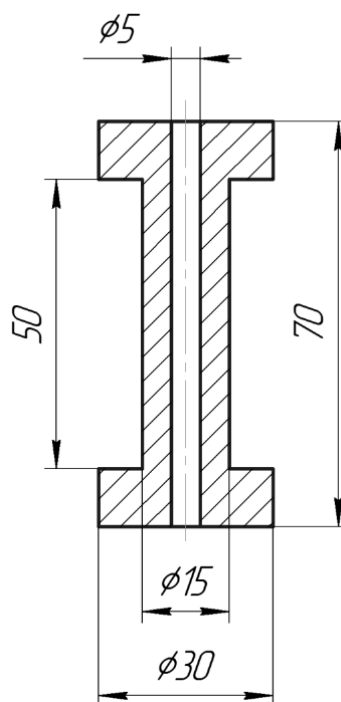


Рисунок 2.1 – Экспериментальный образец

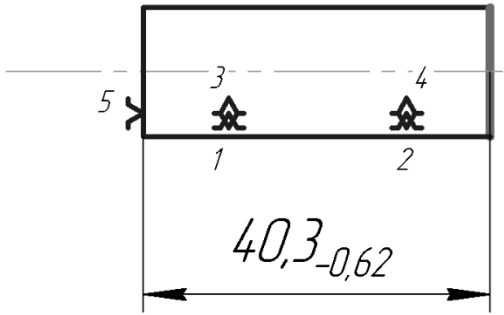
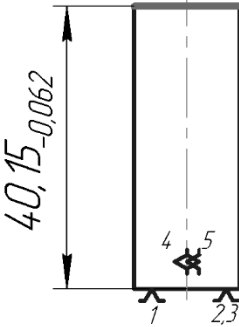
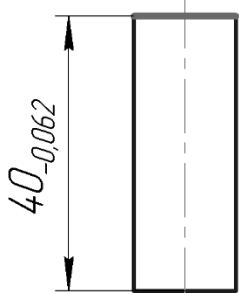
Технологический процесс изготовления экспериментальных образцов представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Технологический процесс изготовления экспериментальных образцов

Номер		Наименование операции и содержание переходов	Операционный эскиз
операции	перехода		
005	A	<u>Токарная</u> Установить заготовку в трехкулачковый патрон.	
	1	Подрезать торец, выдерживая размер 2 _{-0,25}	
	2	Сверлить центровое отверстие выдерживая указанные размеры	

3	Прижать заготовку задней бабкой. Точить поверхность, выдерживая размеры 75 _{-0,74} и 28 _{-0,52}	
4	Точить поверхность, выдерживая размеры 50 _{-0,74} и $\phi 15_{-0,43}$	
5 6	Сверлить Рассверлить отверстие. $\phi 5^{+0,05}$, на длину 75 _{-0,74} .	
7	Отрезать заготовку в размер 70 _{-0,74} .	

010	1	Дорновать отверстие выдерживая диаметр $\varnothing 5,3^{+0,012}$	
015	1	Растянуть образцы с деформацией 0,5%, 1% и 1,5%.	
016	1	Повторно дорновать отверстия выдерживая диаметр $\varnothing 5,4^{+0,012}$	
020	А 1	<p><u>Электроэрозионный станок с ЧПУ</u></p> <p>Установить заготовку в призму</p> <p>Отрезать заготовку в размер $55_{-0,74}$.</p>	

	Б	Переустановить заготовку.	$\sqrt{Ra\ 50}$ 
2		Отрезать заготовку в размер $40,3_{-0,62}$.	
025	А	<u>Плоскошлифовальная</u> Установить заготовку на магнитном столе, согласно эскизу.	$\sqrt{Ra\ 0,32}$ 
1		Шлифовать торец в размер $40,15_{-0,062}$.	
Б		Переустановить заготовку.	$\sqrt{Ra\ 0,32}$ 
2		Шлифовать торец в размер $40_{-0,062}$.	

Образцы изготавливали на токарно-винторезном станке 16K20. Сверление и рассверливание отверстий в образцах проводили стандартными спиральными сверлами с цилиндрическим хвостовиком средней серии со шлифованным профилем (ГОСТ 10902-77). Диаметр сверла $\varnothing 5$ мм, материал режущей части Р6М5К5.

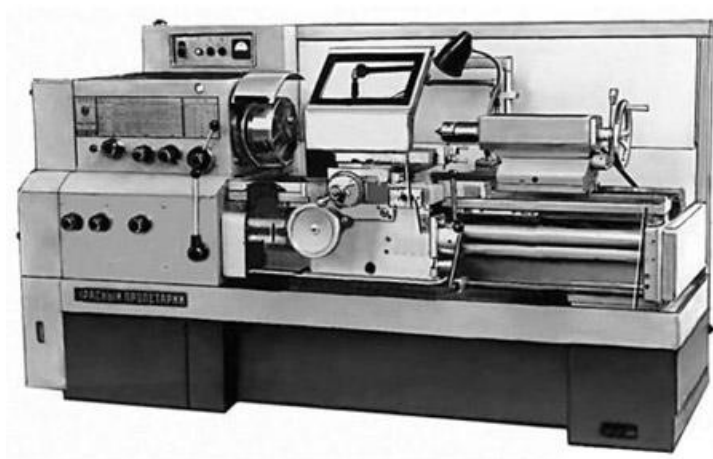


Рисунок 2.2 – Токарно-винторезный станок 16K20

Дорнование отверстий диаметром 5 мм выполняли однозубыми дорнами из твердого сплава ВК8. Для обеспечения высокой точности и качества поверхностного слоя отверстий, дорнование производили за два цикла. В качестве смазочных материалов при дорновании отверстий использовали жидкость МР-7. Скорость дорнования составляла 0,5 м/мин., дорнование выполняли по схеме растяжения.

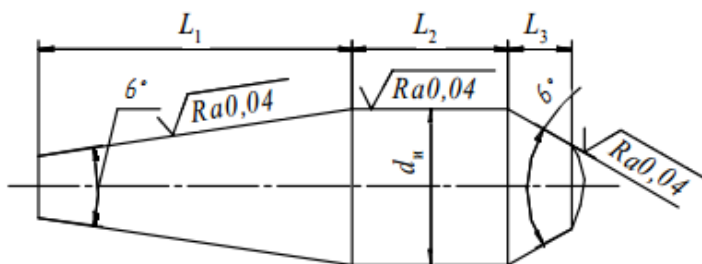


Рисунок 2.3 – Твердосплавный дорн для обработки глубоких отверстий малого диаметра

Таблица 2.4 – Маршрут обработки отверстий с наложением растягивающих напряжений.

Метод обработки отверстия	Диаметр обработанного отверстия
После сверления	5,117
Первый цикл дорнования	5,304
Второй цикл дорнования	5,378
Растянуть образцы с пластической деформацией равной 0,5%, 1% и 1,5%	
Повторное дорнование	5,398

Твердые сплавы характеризуются высокими значениями физико-механических показателей, таких как теплопроводность, твердость, модуль упругости, ударная прочность, устойчивость к вибрации и т.д.

Твердые сплавы существенно более прочны и менее хрупки, нежели традиционные конструкционные керамики или керметы, что обуславливает возможность их работы с значительно большими нагрузками, а также обеспечивает их лучшую технологичность и эксплуатационную устойчивость.

Масляная СОЖ МР-7 - это смесь минеральных масел различной вязкости с противозадирными, антифрикционными и антикоррозионными присадками [12]. Применяется при протягивание углеродистых, легированных, нержавеющей и жаропрочных сталей на операциях точения, фрезерования, сверления, нарезания резьбы, а также на станках-автоматах.

Чтобы снять остаточные напряжения в образцах после дорнования применялось пластическое растяжение. Образцы были подвергнуты растяжению на 0,5%, 1% и 1,5%. Растяжение образцов выполняли с помощью специального ручного винтового приспособления. Для того чтобы убрать ручной труд и контролировать усилие растяжения было спроектировано приспособление с гидроцилиндром для растяжения цилиндрических образцов с буртиками представленное на рисунке 2.4. Приспособление работает

следующим образом: за счет подачи жидкости в поршневую полость гидроцилиндра 1 начинается движение штока гидроцилиндра. Шток гидроцилиндра 1 передает усилие верхней крышке 4. Верхняя крышка 4

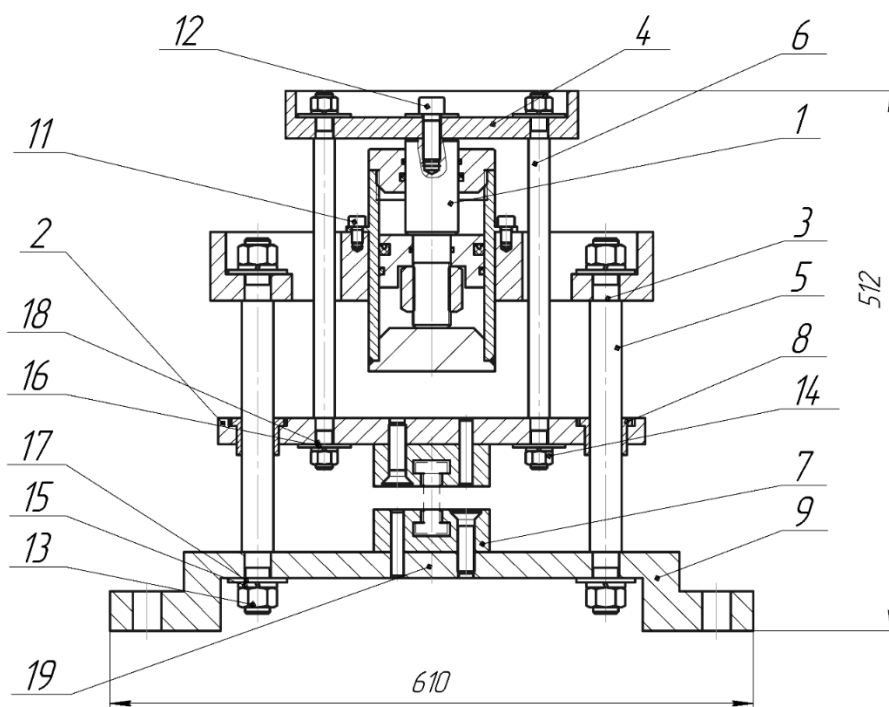


Рисунок 2.4 – Приспособление для растяжения цилиндрических образцов с буртиками

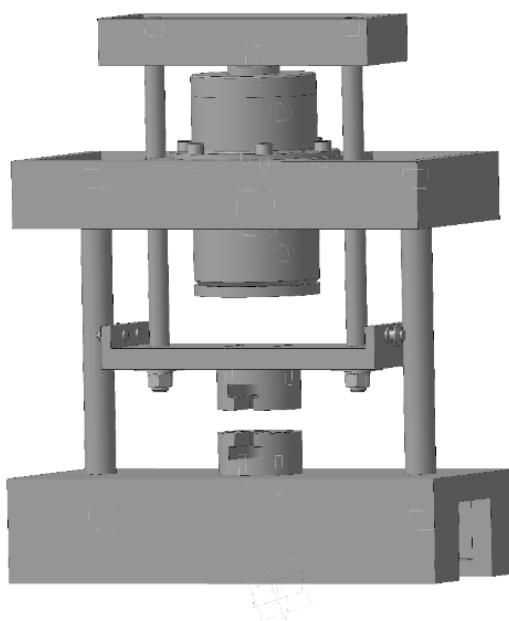


Рисунок 2.5 – 3D модель приспособления для растяжения цилиндрических образцов с буртиками

соединена с малыми направляющими 6 резьбовым соединением. Верхняя крышка 4 передает усилие на нижнюю крышку 2 и далее на верхнюю губку 7. Образец с буртиками расположен между верхней и нижней губками 7, т.к. нижняя губка 7 находится в стационарном положении, а на верхней губке 7 создается усилие гидроцилиндра 1 происходит растяжение образца.

Для расчета необходимого усилия растяжения воспользуемся эмпирическим уравнением для расчета усилий (кН) растяжения толстостенных цилиндрах из конструкционных углеродистых сталей.

$$\sigma_{\text{Эксп}}^{2\%} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

где A – площадь сечения образца, мм²;

F – усилие, создаваемое при растяжении, Н;

$\sigma_{\text{Эксп}}^{2\%} = 320$ МПа напряжение, МПа.

$$F = 320 \cdot 157 = 50240 \text{ Н}$$

Определим диаметр гидроцилиндра по формуле:

$$A = \frac{F}{p} \quad (2.2)$$

$$A = \pi R_{\Gamma}^2 - \pi r_{\Gamma}^2 \Rightarrow \pi R_{\Gamma}^2 - \pi \left(\frac{R}{2}\right)_{\Gamma}^2 = \pi \left(R_{\Gamma}^2 - \frac{R_{\Gamma}^2}{4}\right) = \frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2$$

где p – давление гидроцилиндра, $p=10$ МПа,

$$\frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2 = \frac{F}{p} \quad (2.3)$$

$$\frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2 = \frac{50240 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^2}{10 \text{ МПа}} \Rightarrow R_{\Gamma} = 41 \text{ мм}$$

Принимаем диаметр гидроцилиндра $D = 100$ мм.

После дорнования образцы подвергали тонкому шлифованию, на кругло - шлифовальном станке модели 3Б161.

В соответствии с методом Закса с внутренней поверхности образцов на электроэрозионном проволочно-вырезном станке с ЧПУ модели DK7725 (КНР) последовательно удаляли толщиной не менее 0,7 мм и измеряли возникающие при этом изменения наружного, внутреннего диаметра и длины.



Рисунок 2.6 – Общий вид электроэрозионного станка модели DK 7725

Также был проведен эксперимент по влиянию электроэрозионной обработки на остаточные напряжения в образцах.

1- окружные напряжения, 2- радиальные напряжения, 3- осевые напряжения

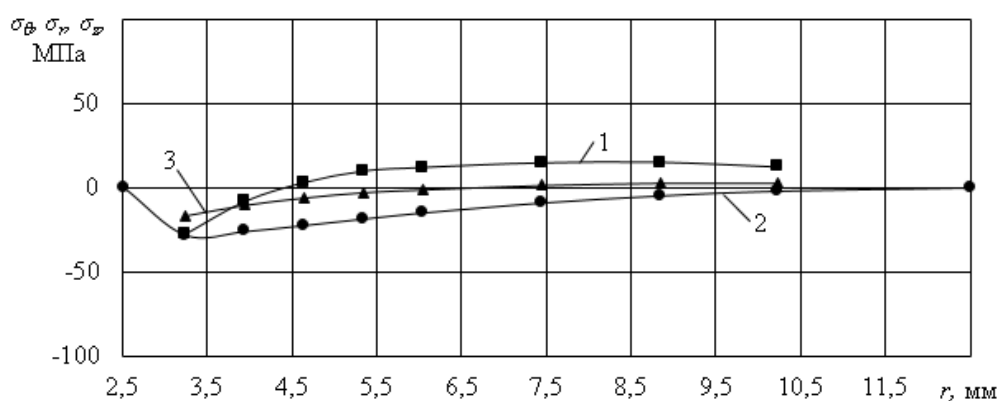


Рисунок 2.7 – Эпюры остаточных напряжений в образцах
После электроэрозионной обработки

Предварительно, перед основным экспериментом, оценивали влияние электроэрозионной обработки на остаточные напряжения. Цилиндрические образцы из стали 50 были подвержены полному вакуумному рекристаллизационному отжигу при температуре 800°C в течении двух часов, при сравнительно медленном охлаждении. Остаточные напряжения в образцах определяли по методу Закса. В соответствии с методом Закса с внутренней поверхности образцов на электроэрозионном станке с ЧПУ последовательно удаляли слои металла толщиной 0,7 мм, определяли изменения наружного и внутреннего диаметров образца, а также высоту и в последствии рассчитывали среднее значение осевых, радиальных и окружных напряжений в удаляемых слоях.

Результаты эксперимента по влиянию электроэрозионной обработки на остаточные напряжения приведены на рисунке 2.7. Анализируя рисунок 2.7 можно сказать, что распределение окружных (σ_θ), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений) находятся в пределах 25 Мпа. Погрешность методики определения остаточных напряжений соответствует 25 Мпа, следовательно, можно сделать вывод, что электроэрозионная обработка практически не оказывает влияния на остаточные напряжения, т.к. остаточные напряжения находятся в пределах погрешности измерений.

2.2 Измерение размеров образцов

2. 2. 1 Измерение наружных и внутренних размеров поверхностей детали

В экспериментах для определения размеров наружных и внутренних поверхностей деталей и использовали следующий мерительный инструмент:

- Нутромер фирмы «Carl Zeiss Jena» (Германия), снабженным индикаторной головкой с ценой деления 0,002 мм. Измерения диаметра отверстий проводили в шести поперечных сечениях образцов. В каждом из

этих сечений измеряли диаметры в двух взаимно перпендикулярных направлениях.;



Рисунок 2.8 – Общий вид нутромера повышенной точности «Carl Zeiss Jena»

- Скоба рычажная СР-25 со встроенным индикатором с ценой деления 0,002 мм. Измерения диаметров наружных поверхностей, предварительно, чтобы настроиться на размер в ультраоптиметре, проводили в трех поперечных сечениях образцов (в среднем по их высоте и на расстоянии 1 мм от их торцов). В каждом из этих сечений измеряли диаметры в двух взаимно перпендикулярных направлениях.



Рисунок 2.9 – Общий вид скобы рычажной СР-25

2. 2. 2 Измерение остаточных напряжений детали

Определение остаточных напряжений в детали определялись методом Закса. Сущность способа заключается в послойном разрезании образца с измерением длины и диаметра цилиндра после каждого снятого слоя. При этом определяется относительное изменение длины и наружного диаметра цилиндра.

Окружные остаточные напряжения на наружной поверхности образцов и поверхности отверстия после дорнования, определяли по изменению их диаметров. Осевые остаточные напряжения образцов находили по изменению длины образца. Изменение длины образцов измеряли с помощью микрокатора с ценой деления 0,0005 мм закрепленного в стойке.



Рисунок 2.10 Общий вид микрокатора, закрепленного в стойке

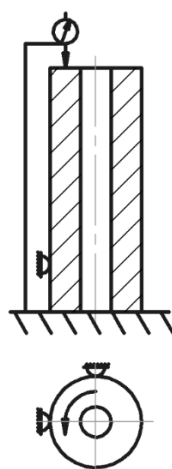


Рисунок 2.11 – Схема измерения длины образца микрокатором

Изменение диаметров наружной поверхности образцов определяли на ультраоптиметре фирмы «Carl Zeiss Jena» с ценой деления 0,0002 мм. Измерения диаметров этих поверхностей проводили в трех поперечных сечениях образцов (в среднем по их высоте и на расстоянии 1 мм от их торцов). В каждом из этих сечений измеряли диаметры в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Средний диаметр поверхности принимали равным среднему арифметическому из шести значений ее диаметра, измеренных указанным образом.



Рисунок 2.12– Общий вид ультраоптиметра фирмы «Carl Zeiss Jena»

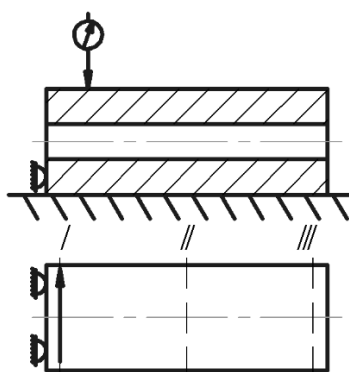


Рисунок 2.13 – Схема измерения наружной поверхности образца ультраоптиметром

В соответствии с методом Закса с внутренней поверхности образцов на электроэрозионном станке с ЧПУ последовательно удаляли слои металла

толщиной 0,7 мм, определяли изменения наружного и внутреннего диаметров образца, а также высоту и в последствии рассчитывали среднее значение осевых, радиальных и окружных напряжений в удаляемых слоях.

Расчетные формулы внутренних напряжений:

Для радиальных остаточных напряжений:

$$\sigma_r(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{R_2^2 - r^2}{2r^2} [\varepsilon_{\theta 2}(r) + \mu \varepsilon_{z 2}(r)] \quad , \quad (2.4)$$

Для осевых остаточных напряжений:

$$\sigma_z(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[\frac{R_2^2 - r^2}{2r} \left(\frac{d\varepsilon_{z 2}}{dr}(r) + \mu \frac{d\varepsilon_{\theta 2}}{dr}(r) \right) - \varepsilon_{z 2}(r) - \mu \varepsilon_{\theta 2}(r) \right] \quad , \quad (2.5)$$

Для окружных остаточных напряжений:

$$\sigma_{\theta}(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[\frac{R_2^2 - r^2}{2r} \left(\frac{d\varepsilon_{\theta 2}}{dr}(r) + \mu \frac{d\varepsilon_{z 2}}{dr}(r) \right) + \frac{R_2^2 + r^2}{2r^2} (\varepsilon_{\theta 2}(r) + \mu \varepsilon_{z 2}(r)) \right] \quad (2.6)$$

где r - внутренний радиус;

R_2 - наружный радиус;

$\varepsilon_{z 2}$ и $\varepsilon_{\theta 2}$ - деформации в осевом и окружном направлениях на внешнем радиусе;

μ - постоянная Пуассона,

E - модуль Юнга.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Определение остаточных напряжений после дорнования

Исследования проводились на образцах из стали 20 с диаметром отверстия $d = 5$ мм, диаметром наружной поверхности $D = 15$ мм и длиной $L = 50$ мм. Дорнование осуществляли за два цикла по схеме растяжения с суммарным относительным натягом 5,1%.

Остаточные напряжения определяли методом Закса, в соответствии с которым с внутренней поверхности образцов последовательно удаляли слои металла толщиной 0,7 мм и измеряли возникающие при этом изменения их наружного диаметра и длины.

Осевые остаточные напряжения у поверхности отверстия сжимающие, а в наружной области образцов – растягивающие. Наибольшими (по абсолютной величине) являются окружные остаточные напряжения. Их значения у отверстия образцов близки к пределу текучести стали 20 (материала образцов). Значительно меньшими оказываются радиальные и осевые остаточные напряжения.

На рис. 3.1 в качестве примера приведены зависимости изменений окружных (σ_θ), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений), эти и другие аналогичные зависимости аппроксимировали с помощью программы Microsoft Excel 2013, уравнения которых затем использовали для расчетов остаточных напряжений. При их проведении принимали модуль упругости $E = 2 \times 10^5$ МПа, коэффициент Пуансона $\mu = 0,3$. Расчеты выполняли с использованием Microsoft Excel 2013.

Распределение окружных (σ_θ), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений) обработанных дорнованием с суммарным натягом 5,1% показано на рисунке 3.1. Из них видно, что во всех исследованных случаях окружные остаточные напряжения в области, прилегающей к отверстию, являются сжимающими, а в области, прилегающей к наружной поверхности образцов –

растягивающими. Радиальные остаточные напряжения равны нулю на поверхности отверстия и наружной поверхности образцов и являются сжимающими в остальной их области. Наибольшими по абсолютной величине являются окружные остаточные напряжения, которые у поверхности отверстия достигают -162 МПа. Рассеивание диаметров отверстий образцов при дорновании с указанными выше натягами уменьшилось с $0,07$ мм (IT11) до $0,01$ мм (IT7).

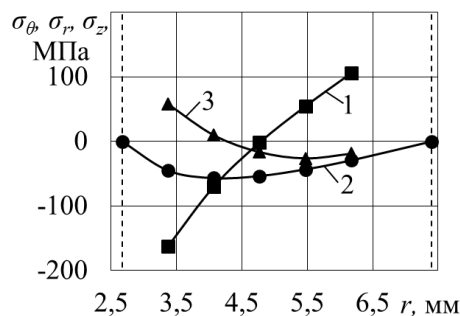


Рисунок 3.1 - эпюры окружных 1, радиальных 2 и осевых 3 остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом 5,1%

При пластическом растяжении образцов обработанных дорнованием происходит резкое снижение по абсолютной величине окружных и радиальных остаточных напряжений (рисунок 3.2). При этом характер эпюр остаточных напряжений в значительной степени сохраняется неизменным.

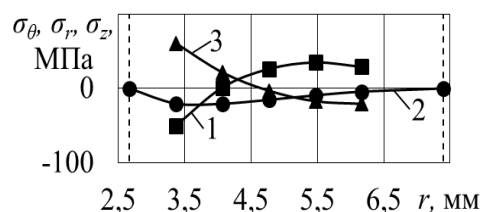


Рисунок 3.2 - эпюры окружных 1, радиальных 2 и осевых 3 остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом 5,1% и пластического растяжения со степенью деформации 0,5%

Анализируя график (рисунок 3.2) можно сказать, что при деформации растяжения 0,5% окружные остаточные напряжения снижаются с -162 МПа

(рисунок 3.1) до -50 МПа (рисунок 3.2), а радиальные – с -57 МПа (рисунок 3.1) до -20 МПа (рисунок 3.2). Осевые остаточные напряжения остаются при этом практически неизменными. Рассеивание диаметров отверстий образцов при этом увеличилось до $0,014$ мм (IT8).

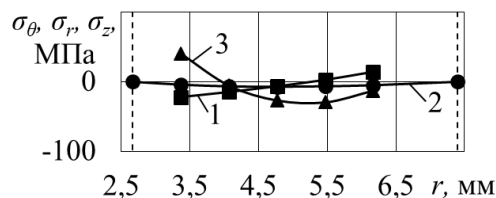


Рисунок 3.3 - эпюры окружных 1, радиальных 2 и осевых 3 остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом $5,1\%$ и пластического растяжения со степенью деформации 1%

Увеличение деформации растяжения до 1% приводит к уменьшению окружных остаточных напряжений до -22 МПа (рисунок 3.3), радиальных – до значений практически равных нулю, а осевых с 58 МПа (рисунок 3.1) до 41 МПа (рисунок 3.3). Рассеивание диаметров отверстий образцов при этом увеличилось до $0,018$ мм (IT8).

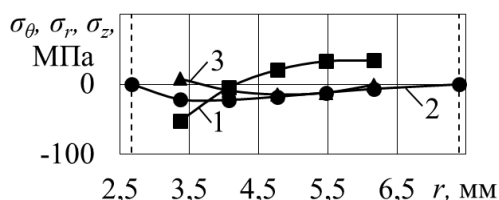


Рисунок 3.4 - эпюры окружных 1, радиальных 2 и осевых 3 остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом $5,1\%$ и пластического растяжения со степенью деформации $1,5\%$

При увеличении деформации растяжения до $1,5\%$ дальнейшего снижения окружных и радиальных остаточных напряжений не наблюдалось. Осевые напряжения при этом снизились до значений близких к нулю, а рассеивание диаметров отверстий образцов достигло $0,022$ мм (IT9).

3. 2 Определение остаточных напряжений после повторного дорнования

После проведения основного эксперимента по определению остаточных напряжений после дорнования и пластического растяжения в толстостенных цилиндрах, был проведен эксперимент по влиянию повторного дорнования, после пластического растяжения на точность отверстия и остаточные напряжения. На рисунке 3.5 приведены зависимости изменений окружных (σ_θ), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений) обработанных повторным дорнованием с натягом 0,37% при этом остаточные напряжения возвращаются к первоначальным, т.е. к напряжениям, соответствующим дорнованию с суммарным натягом 5,1%, следовательно, повторное дорнование не рекомендуется применять на образцах из стали 20.

Анализируя рисунки 3.5; 3.6 и 3.7 можно сделать вывод что с увеличением пластического растяжения с 0,5% до 1,5% на образцах при повторном дорновании, остаточные напряжения не уменьшаются, а даже увеличиваются в пределах погрешности методики определения остаточных напряжений методом Закса.

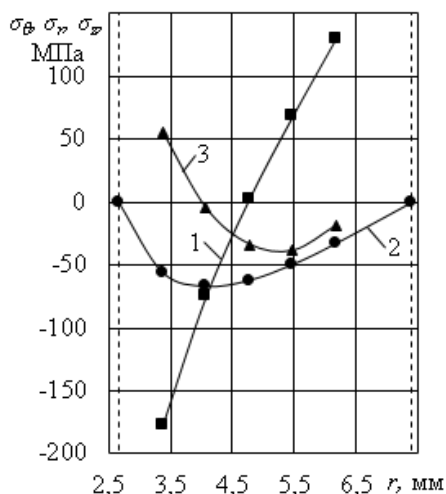


Рисунок 3.5 - Эпюры остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом 5,1%, пластическим растяжением со степенью деформации 0,5% и повторным дорнованием с натягом 0,37%.

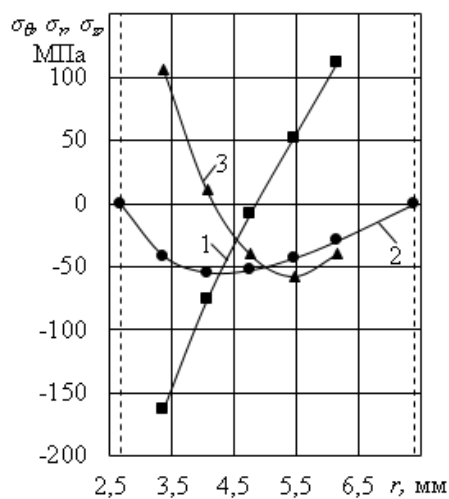


Рисунок 3.6 - Эпюры остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом 5,1%, пластическим растяжением со степенью деформации 1% и повторным дорнованием с натягом 0,37%.

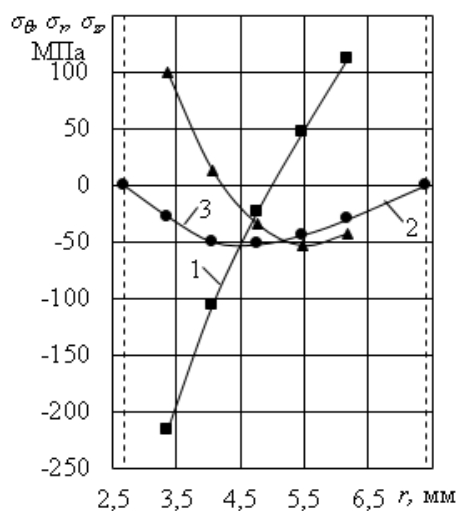


Рисунок 3.7 - Эпюры остаточных напряжений в образцах после дорнования с суммарным натягом 5,1%, пластическим растяжением со степенью деформации 1,5% и повторным дорнованием с натягом 0,37%.

Таблица 3.1 – Общие результаты исследования остаточных напряжений и точности отверстий

	Остаточные напряжения, МПа			Рассеивание диаметров отверстий образцов	Квалитет точности отверстия
	σ_{θ}	σ_r	σ_z		
Сверление	-	-	-	70 мкм	IT11
Дорнование	-162	-56	55	9 мкм	IT7
Дорнование и растяжение образца на 0,5%	-50	-25	57	14 мкм	IT8
Дорнование и растяжение образца на 1%	-25	-15	42	18 мкм	IT8
Дорнование и растяжение образца на 1,5%	-50	-25	-18	22 мкм	IT9
Повторное дорнование	-175	-62	52	6 мкм	IT6

В таблице 3.1 приведены общие результаты исследования распределения окружных (σ_{θ}), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах. Чтобы снять остаточные напряжения образцы были подвержены пластическому растяжению на 0,5%; 1%; 1,5%. Также, по ходу эксперимента определялась точность отверстия, результаты по точности обработанных отверстий приведены в таблице 3.1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе исследования была экспериментально подтверждена эффективность применения пластического растяжения с малыми деформациями для снижения остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах, обработанных дорнованием. Уже при растяжении со степенью деформации 0,5% окружные остаточные напряжения снижаются в 3,2 раза, а радиальные – в 2,9 раза. Однако, пластическое растяжение приводит к падению точности отверстий. В частности, при растяжении со степенью деформации 0,5% точность отверстий падает на один квалитет, а со степенью деформации 1,5% – на два квалитета. Таким образом, можно предположить, что наиболее рационально применять дорнование в сочетании с осевым пластическим растяжением с деформацией не более 0,5%, так как дальнейшее увеличение деформации не приводит к значительному снижению уровня остаточных напряжений, однако вызывает существенное падение точности отверстий достигнутой при обработке дорнованием.

2. Наилучшая точность обработанных отверстий получается при повторном дорновании с суммарным натягом 0,37% и пластическим растяжением 0,5%, точность отверстия соответствует шестому квалитету точности.

3. По ходу эксперимента было оценено влияние электроэрозионной обработки на остаточные напряжения. Результатом стало то, что распределение окружных (σ_θ), радиальных (σ_r) и осевых (σ_z) остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений) находятся в пределах 25 Мпа, можно сделать вывод, что электроэрозионная обработка практически не оказывает влияния на остаточные напряжения, т.к. остаточные напряжения находятся в пределах погрешности измерений.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич

Институт	ИК	Кафедра	ТАМП
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01/Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов научного исследования (НИ) включает в себя: 1. Расчет оплаты труда работников; 2. Расчет стоимости материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Расчет затрат на исследование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	При расчете заработной платы труда учитывались отчисления во внебюджетные страховые фонды, которые составляют 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Составлен портрет потенциального потребителя, выполнен SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Разработан устав проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3. Составлен график Ганта, подсчитан бюджет проекта, оценены риски проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4. Оценена эффективность проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. SWOT-анализ
4. График проведения и бюджет НТИ
5. Матрица ответственности
6. Потенциальные риски
7. Оценка экономической эффективности НТИ
8. Оценка научно-технического уровня НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН	Спицын В.В.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Введение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Машиностроение является одной из движущих отраслей индустрии. Эффективный рост промышленности, а также в свою очередь темпы внедрения инновационных технологий в превосходящей степени зависят от уровня развития отрасли машиностроения. Технический прогресс в отрасли машиностроения характеризуется не только улучшением конструкций машин, но и циклическим улучшением технологии их производства. Очень важно качественно, дешево и в заданные плановые сроки с минимальными затратами живого и овеществленного труда изготовить машину, применив высокопроизводительное оборудование, технологическую оснастку, средства механизации и автоматизации производственного процесса. От выбранной технологии производства во многом зависит качество работы выпускаемых машин, а также более низкие экономические затраты на их эксплуатацию.

Оправданное применение прогрессивного оборудования и инструмента способно привести к значительному снижению себестоимости продукции и трудоёмкости её производства. К таким же результатам может привести и использование совершенных методов обработки деталей.

Также машиностроение относится к энергоемким производствам и является крупнейшим потребителем электроэнергии, газа, мазута и других энергоносителей. Трудовые ресурсы машиностроительных предприятий должны отличаться высоким уровнем профессиональной подготовки от рабочего до управляющего, что обусловлено применением сложной техники, созданием сложнейшей конкурентоспособной продукции и технологических процессов ее изготовления, а также в связи с постоянной необходимостью координации и регулирования хода производства, обусловленных его прерывностью. Указанные особенности машиностроительного производства требуют от каждого работника (мастера, инженера, руководителя) знаний экономических законов, реализуемых на машиностроительном предприятии, умений использования их для достижения главных целей предприятия.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

4.2 Пред проектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

На основе результатов исследований может быть внедрен в производство в ЗАО «Наука и серийный выпуск» (г. Томск) новый технологический процесс изготовления корпусов миниатюрных гидроцилиндров, включающий операцию дорнования с большими натягами глубокого отверстия малого диаметра, позволяющий обеспечить высокие эксплуатационные свойства этих деталей. Для выполнения этих операций разработаны конструкции твердосплавных дорнов и специального высокопроизводительного приспособления к гидравлическому прессу.

Для ООО «Завод приборных подшипников» (г. Томск), вместо окончательной обработкой отверстий шлифованием, в кольцах приборных подшипников, можно использовать дорнование увеличивающее эксплуатационные свойства подшипников в 1,5-2 раза.

Дорнование толстостенных цилиндров востребовано в серийном и массовом машиностроительном производстве. Используется для удешевления процесса получения точных отверстий с низкой шероховатостью.

4.3 Снижение остаточных напряжений при дорновании толстостенных цилиндров

Цель диссертации заключается в проведении эксперимента по снижению остаточных напряжений в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах с применением пластического растяжения. Основным местом проведения работы является 103 аудитория 16 «б» корпуса НИ ТПУ.

Дорнование отверстий в толстостенных цилиндрах является одним из наиболее эффективных методов их обработки. Обладает высокой производительностью, позволяет достичь высокой точности отверстий, получить малую шероховатость их поверхности, упрочнить поверхностный слой, сформировав в нем благоприятные сжимающие остаточные напряжения.

Однако в ряде случаев величина этих напряжений оказывается нежелательно высокой, что ограничивает область применения дорнования. В связи с этим поиск путей снижения остаточных напряжений при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах является актуальным для современного машиностроения.

В ходе исследования была экспериментально подтверждена эффективность применения пластического растяжения с малыми деформациями для снижения остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах, обработанных дорнованием. Уже при растяжении со степенью деформации 0,5% окружные остаточные напряжения снижаются в 3,2 раза, а радиальные – в 2,9 раза. Однако, пластическое растяжение приводит к падению точности отверстий. Таким образом, можно предположить, что наиболее рационально применять дорнование в сочетании с осевым пластическим растяжением с деформацией не более 0,5%, так как дальнейшее увеличение деформации не приводит к значительному снижению уровня остаточных напряжений, однако вызывает существенное падение точности отверстий достигнутой при обработке дорнованием.

4.4 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Основным конкурентом дорнования при повышенных требованиях к точности и качеству поверхностного слоя глубоких отверстий малого диаметра является развертывание и притирка. Развертывание широко применяется как для окончательной, так и для предварительной обработки глубоких отверстий малого диаметра, например, перед закалкой заготовок и последующей притиркой. Для обработки отверстий диаметром $d = 0,4 \dots 1$ мм глубиной $L \leq 10d$ в незакаленных сталях, цветных металлах и сплавах используют пятигранные развертки с деформирующими зубьями. При развертывании применяют комплект из 2...4 разверток, каждая из которых «снимает» припуск около 0,01мм. В целом при развертывании отверстий

малого диаметра может быть обеспечена точность 6...8 квалитетов при параметре шероховатости поверхности $Ra \geq 0,32$ мкм. Вместе с тем, развертывание глубоких отверстий малого диаметра является недостаточно производительным, так как часто выполняется в машинно-ручном варианте. При этом процесс развертывания точных отверстий оказывается нестабильным; при их обработке возможен существенный брак деталей, очень трудоемкий.

Притирка выполняется за несколько операций, между которыми заготовки подвергаются промывке, и является очень трудоемкой. Достигаемая точность – 3...4 квалитет, шероховатость поверхности — $Ra = 0,02 \dots 0,08$ мкм. В процессе притирки абразивной пастой на основе карбида бора зернистостью 120...220, выполняемой непосредственно после сверления отверстий и закалки заготовки, обеспечивается точность 7...9 квалитетов и шероховатость поверхности $Ra = 0,63 \dots 1,25$ мкм. Существенным недостатком притирки является шаржирование поверхности отверстий осколками абразивных зерен, что снижает эксплуатационные свойства обработанных деталей.

Как показывает анализ литературы, обеспечить высокую точность и качество поверхностного слоя глубоких отверстий малого диаметра и существенно повысить эксплуатационные свойства деталей с твердостью $HRC_{\Sigma} \leq 45$ можно, используя процесс дорнования.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда	0,15	4	3	1	0,6	0,45	0,15
Удобство в эксплуатации	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Энергоэкономичность	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Надежность	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
Уровень шума	0,15	2	2	2	0,3	0,3	0,3
Безопасность	0,15	3	2	4	0,45	0,3	0,6
Экономические критерии оценки							
Конкурентоспособность	0,07	2	4	3	0,14	0,28	0,21
Уровень проникновения на рынок	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
Цена	0,05	3	3	2	0,15	0,15	0,1
Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	3	3	1	0,18	0,18	0,06
ИТОГО	1	36	32	31	3,15	2,96	2,45

4.5 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. У дорнования нет отходов в виде стружки или абразивных зерен	Сл1. Требуется специальное приспособление для дорнования
С2. Производительность выше, чем у притирки, развертывания и хонингования	Сл2. Шероховатость и точность обработанного отверстия ниже чем у притираемого отверстия
С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями	Сл3. Относительно длительная подготовка производства

С4. Упрочнение поверхностного слоя отверстия, что влияет на долговечность изделия	Сл4. После дорнования остаются высокие остаточные напряжения, порой достигающие предела текучести
С5. Экологичность технологии сравнительно с притиркой, развёртыванием и хонингованием	Сл5. После дорнования происходит усадка отверстия
Opportunities (возможности) В1. Освоение новых материалов дорна для получения возможности обработки твердых материалов В2. Создание приспособления для дорнования с равномерной подачей дорна, обеспечивающей постоянство качества поверхности. В3. Быстрое внедрение в производство.	Threats (угрозы) У1. Несвоевременное финансовое обеспечение со стороны государства У2. Не имеются требуемые стандарты и спецификации по данному виду обработки отверстий, из-за усадки отверстия У3. При переходе на данную технологию у предприятия появятся значительные объёмы не загруженного оборудования.

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	-	+	-	0	-
	В2	-	+	-	-	+
	В3	+	+	+	-	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	В1	-	+	-	-	-
	В2	+	+	-	+	-
	В3	+	-	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	+	-	-	+	-
	У3	-	+	-	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта						
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	+	-	-
	У2	-	+	+	+	+
	У3	+	-	-	-	-

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице.

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. У дорнования нет отходов в виде стружки или абразивных зерен</p> <p>С2. Производительность выше, чем у притирки, развертывания и хонингования</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями</p> <p>С4. Упрочнение поверхностного слоя отверстия, что влияет на долговечность изделия</p> <p>С5. Экологичность технологии сравнительно с притиркой, развёртыванием и хонингованием</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Требуется специальное приспособление для дорнования</p> <p>Сл2. Шероховатость и точность обработанного отверстия ниже чем у притираемого отверстия</p> <p>Сл3. Относительно длительная подготовка производства</p> <p>Сл4. После дорнования остаются высокие остаточные напряжения, порой достигающие предела текучести</p> <p>Сл5. После дорнования происходит усадка отверстия</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Освоение новых материалов дорна для получения возможности обработки твердых материалов</p> <p>В2. Создание приспособления для дорнования с равномерной подачей дорна, обеспечивающей постоянство качества поверхности.</p> <p>В3. Быстрое внедрение в производство</p>	<p>В1С2 В2С2С5 В3С1С2С3</p>	<p>В1Сл2 В2Сл1Сл2Сл4 В3Сл1</p>
<p>Угрозы: У1. Несвоевременное финансовое обеспечение со стороны государства</p> <p>У2. Не имеются требуемые стандарты и спецификации по данному виду обработки отверстий, из-за усадки отверстия</p> <p>У3. При переходе на данную технологию у предприятия появятся значительные объёмы не загруженного оборудования.</p>	<p>У1С3 У2С1С4 У3С2</p>	<p>У1Сл3 У2Сл2Сл3 Сл4Сл5 У3Сл1</p>

4.6 Инициация проекта

Реальным заказчиком данной исследовательской работы является ООО “Промышленная механика”, г. Томск. Реализация проекта планируется в ООО “Промышленная механика”, при окончательной обработки малых диаметров ($d 1 \dots 5$ мм) в деталях цилиндрической формы.

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.7 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.8 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Магистрант	Магистерская диссертация
Руководитель проекта	Получение результатов исследования по снижению напряжения при дорновании толстостенных цилиндров методом пластического растяжения

В таблице 4.9 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.9 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Проведение эксперимента по снижению остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах пластическим растяжением
Ожидаемые результаты проекта:	Получить конкретное значение осевой пластической деформации, при которой наиболее рационально применять дорнование
Критерии приемки результата проекта:	Сравнение полученных результатов эксперимента и их графическое оформление
Требования к результату проекта:	Требование:
	Создание образцов
	Проведение эксперимента
	Измерения и анализ результатов
	Оформление графического материала
	Оформление магистерской диссертации

4.8 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице.

Таблица 4.10 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Солоха А.И. магистрант каф. ТМСПР	Исполнитель	1. Создание испытуемых образцов 2. Вырезка образцов на электроэрозионном станке (по методу Загса) 3. Измерение образцов 4. Анализ полученных результатов	1000
2	Бознак А.О, НИ ТПУ, аспирант	Руководитель	1. Консультация по теоретической части проекта. 2. Помощь при создании образцов, измерении образцов. 3. Помощь в проведении анализа испытания и оформлении отчета.	500

4.9 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 4.11 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	65000 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО “Промышленная механика”, г. Томск
3.2. Сроки проекта:	13.09.2015-10.06.2017
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	13.11.2016
3.3. Прочие ограничения и допущения*	-

Вся сумма в 65тыс. руб. была потрачена на изготовление образцов (покупка материала, токарная обработка, шлифование и дорнование отверстий в образцах). Эксперимент на образцах цилиндрической формы выполнялся по методу Закса, сущность способа заключается в послойном разрезании цилиндра с измерением длины и диаметра образца после каждого снятого слоя. Разрезание каждого слоя образца выполнялось на электроэрозионном станке, что довольно затратно.

4.10 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 4.12.

Таблица 4.12 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Получение темы диссертационного исследования	60	13.09.15	13.11.15	Бознак А.О.

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
2	Постановка целей и задач	7	13.11.15	20.11.15	Бознак А.О.
3	Изучение литературы	90	20.11.15	20.02.16	Солоха А.И.
4	Обсуждение литературы	15	20.02.16	5.03.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
5	Разработка календарного плана	10	5.03.16	15.03.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
6	Создание образцов	75	15.03.16	1.07.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
7	Проведение эксперимента	75	1.07.16	15.10.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
8	Измерение образцов	7	15.10.16	22.10.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
9	Анализ результатов	7	22.10.16	29.10.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
10	Графическое оформление результатов	7	29.10.16	05.11.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
11	Написание статьи по результатам исследования	15	05.11.16	20.11.16	Солоха А.И.
12	Подготовка к конференции и выступление	25	20.11.16	15.12.16	Бознак А.О. Солоха А.И.
13	Оформление конструкторской документации	35	15.12.16	20.01.17	Солоха А.И.
14	Написание диссертации	140	20.01.17	10.06.17	Солоха А.И.
Итого:		568			

Таблица 4.13 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код рабо ты	Вид работы	Исполнитель	Т _к , кал, дн.	Продолжительность выполнения работ																											
				2015 год								2016 год												2017 год							
				Номер месяца																											
				09	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6						
1	Получение темы диссертационн ого исследования	Бознак А.О.	60																												
2	Постановка целей и задач	Бознак А.О.	7																												
3	Изучение литературы	Солоха А.И.	90																												
4	Обсуждение литературы	Бознак А.О. Солоха А.И.	15																												

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы с разбивкой по месяцам и декадам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Сетевой график – графическое отображение комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

4.11 Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (4.1)$$

где R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 4.14 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та n_i
1. Уровень новизны	0,2
2. Теоретический уровень	0,2
3. Возможность реализации	0,6

Таблица 4.15 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 4.16 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 4.17 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Таблица 4.18 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Таблица 4.19 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,2	Относительно новая	3	Формирование рекомендаций по выбору значений пластического растяжения для снижения остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах, определение зависимостей, способствующих улучшению дорнования.
Теоретический уровень	0,2	Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5	Получение результатов исследования с ранее не проверенными показаниями.
Возможность реализации	0,6	В течение первых лет	10	Сконструировав приспособление для дорнования толстостенных цилиндров и внедрять в производство.

Из сводной таблицы оценки научно-технического уровня НИР можно сделать вывод, что несмотря на невысокий теоретический уровень и отсутствия принципиально новой информации, анализ полученных результатов дает возможность определить наиболее эффективное применение дорнование в сочетании с осевым пластическим растяжением с деформацией не более 0,5%, так как дальнейшее увеличение деформации не приводит к значительному снижению уровня остаточных напряжений, однако вызывает существенное падение точности отверстий достигнутой при обработке дорнованием.

В ходе исследования была экспериментально подтверждена эффективность применения пластического растяжения с малыми деформациями для снижения остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах, обработанных дорнованием.

Использование этой информации позволит сравнить и оценить эффективность дорнования по сравнению с конкурирующими методами отделочной обработки глубоких отверстий малого диаметра.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{нту}} = 0,2 * 3 + 0,2 * 0,5 + 0,6 * 10 = 0,6 + 0,1 + 6 = 6,7$$

Таким образом данное исследование имеет средний уровень научно-технического эффекта.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич

Институт	Кибернетики	Кафедра	Технологии машиностроения и промышленной робототехники
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	150401/Машиностроение

Тема дипломной работы: «Снижение остаточных напряжений в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах пластическим растяжением».

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Ноксологический анализ инновационных решений по теме диссертации на предмет возникновения:
 - **вредных** проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, эл – магнитные поля, ионизирующие излучения, и других специфических явлений);
 - **опасных** проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной взрывной и другой природы);
 - **негативного** воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу);
 - чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)
2. Компетентный обзор законодательных и нормативных документов по теме.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных **вредных** факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - физико – химическая природа фактора, его связь с разрабатываемой темой;
 - действие фактора на организм человека;
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)
2. Анализ выявленных **опасных** факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:
 - механические опасности (источники, средства защиты)
 - термические опасности (источники, средства защиты)
 - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты);
 - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения);
3. Охрана окружающей среды:
 - защита селитебной и других зон окружающей среды;
 - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы: абразивная пыль);
 - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы: СОЖ);
 - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы: стружка, бумага);
 - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:
перечень возможных ЧС на объекте: сильные морозы, диверсия;
выбор наиболее типичной ЧС;

<p>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Перечень графического материала:
<p>План эвакуации План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич		

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Введение

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы, связанные с техникой производственной безопасности и охраной окружающей среды.

Основной целью данного раздела является выявление опасных факторов промышленного производства, создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведения эксперимента по снижению остаточных напряжений с применением пластического растяжения в обработанных дорнованием толстостенных цилиндрах. Эксперимент проводился на образцах из стали 20 с наружным диаметром 15 мм и диаметром отверстия 5 мм. Отверстия в образцах сверлили и рассверливали на токарном станке. Дорнование отверстий выполняли однозубыми дорнами из твердого сплава ВК8 на универсальной испытательной машине УМЭ-10ТМ. В качестве смазочного материала применяли жидкость МР-7. Пластическое растяжение образцов выполняли с помощью специального ручного винтового приспособления. При этом осевую пластическую деформацию изменяли от нуля до 1,5%. Основным местом проведения работы является 103 аудитория 16 «б» корпуса НИ ТПУ.

Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной санитарии.

5.2 Анализ опасных и вредных факторов

При проведении эксперимента по снижению остаточных напряжений в толстостенных цилиндрах с применением пластического растяжения использовалось металлообрабатывающее оборудование. Работа на нем представляет некоторые вредные производственные факторы.

Вредные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока.
- Абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости;
- Повышенный уровень вибрации;
- Повышенный уровень шума;
- Повышенный уровень статического электричества;

Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Получение травм, при работах на токарно-винторезном станке 1К62;
- Поражение электрическим током, при работе оборудования;
- Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы.

Кроме того, в ходе выполнения данного проекта большое количество времени работе велась с использованием ПЭВМ. Для работы с данным оборудованием существует следующая типовая инструкция: ТОИ Р 01-00-01-96 «Типовая инструкция по охране труда для операторов и пользователей персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) и работников, занятых эксплуатацией ПЭВМ и видеодисплейных терминалов (ВДТ)». Работа оператора ПЭВМ относится к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда.

Самый верный и наиболее надежный путь борьбы с производственным травматизмом – четкое знание каждым работником требований правил техники безопасности труда и их исполнение.

Таким образом, в ходе выполнения данного проекта имело место большое количество опасных и вредных производственных факторов.

5.3 Микроклимат

Состояние микроклимата на механическом участке должна соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами:

- 1) температура воздуха t , °С;
- 2) относительная влажность воздуха ϕ , %;
- 3) скорость движения воздуха на рабочем месте v , м/с.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории средних работ. Допустимые значения микроклимата для этого случая даны в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 24	15 - 75	≤ 0.1
Теплый	средняя	20 - 28	15 - 75	≤ 0.2

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

5.4 Вредные вещества и вентиляция производственных помещений

При анализе вредных выделений на участке выявлены следующие вредные вещества: масло минеральное, окись железа.

На проектируемом участке концентрация загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК по ГОСТ 12.1.005 – 88. Очистку от загрязнения осуществляют с помощью фильтров и приточной – вытяжной вентиляцией.

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более

однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию.

5.5 Производственный шум

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной и индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;
- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства индивидуальной защиты:

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

5.6 Освещение

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 10$ м, ширина $B = 7$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1$ м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами без штор $\rho_c = 70\%$, чистого бетонного потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу ЛХБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 2700$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле 5.1:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.1)$$

Индекс помещения определяется по формуле 5.2:

$$i = \frac{A*B}{h*(A+B)} = \frac{10*7}{2*(10+7)} = 2,05 \quad (5.2)$$

Коэффициент использования светового потока $\eta = 0,52$.

Потребные группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.3:

$$n = \frac{E*A*B*K_3*Z}{\Phi*\eta} = \frac{150*10*7*1,5*1,1}{2700*0,52} = 12,3 \approx 12 \text{ ламп} \quad (5.3)$$

Общее число ламп: $n=12$. В каждом светильнике по две лампы, следовательно, число светильников = 6 шт.

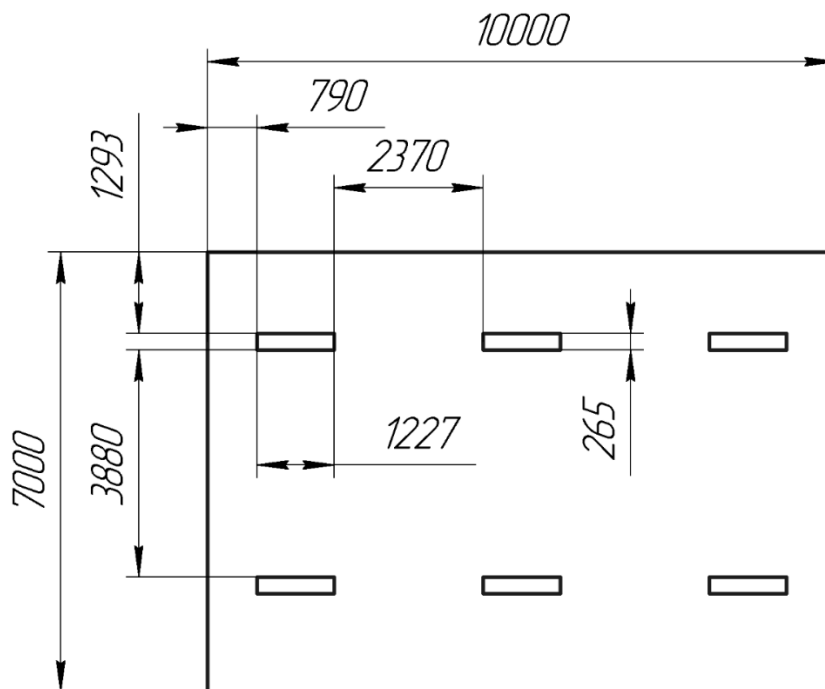


Рисунок 5.1 – План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле 5.4:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 * 1227 = 10000 \text{ мм} \quad (5.4)$$

$$L_1 = 2370 \text{ мм}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле 5.5:

$$\frac{2}{3}L_2 + L_2 + 2 * 265 = 7000 \text{ мм} \quad (5.5)$$

$$L_2 = 3880 \text{ мм}$$

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле 5.6:

$$\Phi_p = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{n * \eta} = \frac{150 * 10 * 7 * 1,5 * 1,1}{12 * 0,52} = 2776 \text{ лм} \quad (5.6)$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2700 - 2776}{2700} * 100 = -2,81 \approx -3\%$$

$-10\% \leq -3\% \leq 20\% \sim$ условие выполнено.

5.7 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Лаборатория относится к II классу электроопасности - помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей

металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Токарный станок работает в сети с напряжением 380 В.

В лаборатории применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

5.8 Пожаровзрывобезопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д: негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии. Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещения;

- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В помещении необходимо иметь огнетушитель марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации представленном на рисунке 5.2.

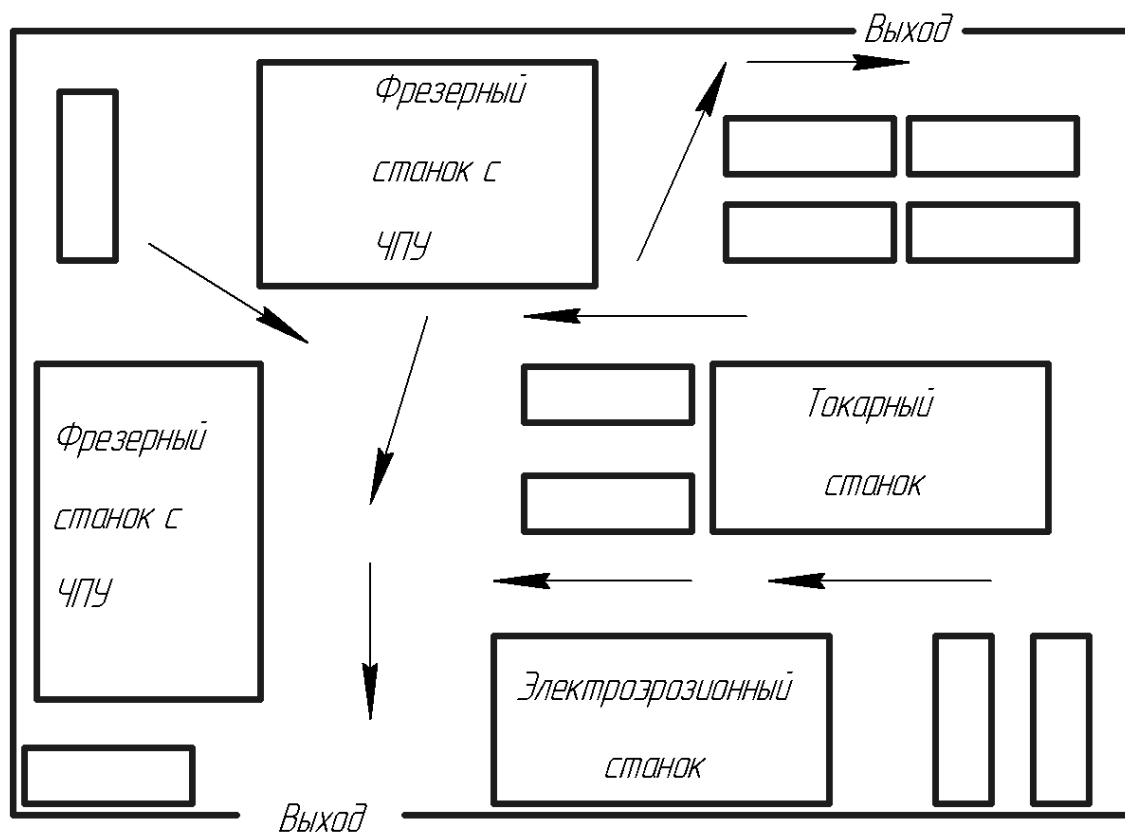


Рисунок 5.2 – План эвакуации аудитории 103

5.9 Экологичность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма ее решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрана природы — комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Окружающий человека воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов. Удаляемый из помещений вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения воздуха промышленных площадок и населенных мест. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека не выше ПДК. В тех случаях, когда реальные выбросы выше этого уровня, необходимо использовать аппараты для очистки газов от примесей.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими, без выделения вредных газов и веществ, однако, в процессе металлообработки снимается слой металлической стружки, которая должна правильно утилизироваться для переработки (переплавки). Стружку необходимо разделить на цветной и черный лом, спрессовать, упаковать и отправить на переплавку. Ртутные лампы сдать в соответствующую фирму на утилизацию. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала.

5.10 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Лаборатория находится в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в лаборатории предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

5.11 Законодательные акты

1. ОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности
2. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
12. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение"

5.12 Графические материалы

1. План размещения светильников в помещении
2. План эвакуации аудитории 103.

Список используемых источников

1. Кожевников Д.В. Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстий. – М.: НИИмаш, 1981. – 60 с
2. Арляпов А.Ю., Ватолин А.В., Охотин И.С., Скворцов В.Ф. Универсальное приспособление для дорнования глубоких отверстий малого диаметра // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: материалы IV международной научно-технической конференции – Тюмень, ТюмГНГУ, 2008, Т. 1. – С. 6–8.
3. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. Монография. 2005 г.
4. Проскуряков Ю.Г., Шельвинский Г.И. Дорнование цилиндрических отверстий с большими натягами. – Ростов: Издательство Ростовского университета, 1982. – 168 с.
5. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.
6. Проскуряков Ю.Г. Технология упрочняюще-калибрующей и формообразующей обработки металлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 208 с.
7. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Посвятенко Э.К. и др. Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания. – Киев: Наук. думка, 1978. – 256 с.
8. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с.
9. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.
10. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. – М.: Машиностроение, 1980. – 248 с.

11. Бабичев М.А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин. – М.: \ Изд-во АН СССР, 1955. – 132с.
12. Исаев А.Н. Выбор заготовок при изготовлении изделий из трубного проката дорнованием // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – № 1. – С. 21–24.
13. Моргунов А.П., Сердюк В.С., Стищенко Л.Г., Коржова О.П., Чуранкин В.Г. Технология сборки профильных подвижных соединений деформирующим протягиванием // Технология машиностроения. – 2008. – № 3. – С. 23–25.
14. Проскуряков Ю.Г., Романов В.Н., Исаев А.Н. Объемное дорнование отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 223 с.
15. Абрамов И.В., Сивцев Н.С., Щенятский А.В. К вопросу исследования напряженно-деформированного состояния заготовки при дорновании методом конечных элементов // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – № 6. – С. 3
16. Bühler H., Buchholtz H. Über die Wirkung von Eigenspannungen auf die Schwingungsfestigkeit -Dortmund, 1933.-S.235-248.
17. Mack W., Garner U. Stress distribution in an elastic-plastic disk subjected to a circular heat source/J. Thermal Stresses Bd. 6, 1983.-S.323-336.
18. Mack W. Spannungen im thermisch gefügten elastisch-plastischen Querpreßverband mit elastischer Entlastung -Ingenieur-Archiv Bd. 56, 1986.- S.301.
19. Rohrbach C., Czaika N. Handbuch der experimentellen Spannungsanalyse- Düsseldorf, 1989.
20. Levy A., Papazian J.M. Elastoplastic finite element analysis of short-fiber-reinforced SiC/Al composites: effects of thermal treatment - Acta Metallurgica et Materialia, 1991.-S.2255-2266.
21. *Odquist F. K., Hult G. J.*, Kriechfestigkeit metallischer Werkstoffe – Berlin; Göttingen; Heidelberg, 1962.

Приложение А

Раздел 1

RESTSPANNUNGSABBAU DER DURCH GLATTUNG VERARBEITETEN DICKWANDIGEN ZYLINDER DURCH PLASTISCHES AUSZIEHEN

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ЛМ51	Солоха Александр Игоревич		

Консультант кафедры ТМСПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТМСПР	Арляпов Алексей Юрьевич	к.т.н., доцент		

Консультант – лингвист кафедры ИЯСГТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯСГТ	Прохорец Елена Константиновна	к.п.н., доцент		

Anleitung

Die Glättung der Bohrungen der dickwandigeren Zylinder ist einer der rationalsten Methoden ihrer Verarbeiteten. Zum Vorteil der Glättung gehört die Hochleistung. Auch sie ermöglicht die Präzision der Bohrungen zu erreichen und geringe Unebenheit davontragen. Aber in einer Reihe von Fällen sind die Restspannungen unlieb hoch. Das begrenzt den Anwendungsbereich der Glättung. Diesbezüglich ist die Suche des Verfahrens des Restspannungsabbaus bei der Glättung der Bohrungen der dickwandigeren Zylinder durch die plastische Deformation aktuell.

Der Restspannungsabbau

Als Restspannungen bezeichnet man ganz allgemein Spannungen, die in einem Körper vorhanden sind, ohne dass äußere Kräfte auf ihn einwirken. Diese Spannungen haben ihre Ursache in differentiell kleinen Dehnungen zwischen Elementen dieses Körpers. Die Verformungen eines Körpers geschehen in vielen Fällen ungleichförmig, so dass nur vereinzelte Elemente bzw. Elemente in bestimmten Schichten ihre Form und Größe plastisch verändern. Diese plastischen Deformationen induzieren in den Nachbarelementen elastische Dehnungen mit entsprechenden Spannungen, aus denen sich als Rückwirkung Spannungen entgegengesetzter Größe in den plastisch verformten Elementen ergeben. Man spricht dann von einem Restspannungssystem. Voraussetzung für die Entstehung eines Spannungssystems dieser Art sind also bleibende Formänderungen einzelner Elemente des betrachteten Körpers. Von Interesse für den Techniker sind sicher nur jene Restspannungssysteme, die messbare Dehnungen in dem Gesamtkörper hervorrufen [16].

Das Ziel der Arbeit ist die Erforschung von Gesetzmäßigkeit des Restspannungsabbaus der durch Glättung verarbeiteten dickwandigen Zylinder durch plastisches Ausziehen.

Bei der Herstellung eines Werkstückes können interne Restspannungen auftreten. Dies kann durch eine Kombination von z.B. Schweißen, biegen und Gießen verursacht werden. Wenn dauerhafte Verformung innerhalb des Prozesses (plastische Verformung) auftritt, dann entsteht so genannten Versetzungsdichte. Die Struktur des Materials wird Stellenweise verzerrt was Restspannungen mit sich bringt [17].

In diesem Auszug handelt es sich um das Prinzip der Spannung arm Glühen beruht auf der Senkung von plastischen Dehnung und Streckgrenze durch Temperaturerhöhung. Das kann in 2 Temperaturbereichen erreicht werden. Für Standard Karbon Stahl ist die meist übliche Temperatur 580°C – 620°C . Das so genannte Low-Stress-Relief Annealing oder Spannung arm Glühen, erfolgt bei einer Temperatur von 300°C bis 400°C . In diesem Temperaturbereich können auf jeden Fall die Spannungsspitzen gesenkt werden. Diesen Bereich kann bevorzugt werden, wenn die Dimensionsstabilität sehr kritisch ist. Diesem Bereich kann auch der Vorzug gegeben werden, wenn Materialien benutzt werden deren Eigenschaften in höhere Temperaturbereichen verschlechtern [17].

Gegenstand der Untersuchung sind die Restspannungen in thermisch beanspruchten elastisch plastischen Bauteilen nach dem Abkühlen. Da das Entfernen der Wärmequelle im Allgemeinen nicht mit schlagartiger Entlastung des plastischen Bereiches verbunden ist, stellt die Berechnung des instationären Entlastungsvorganges ein kompliziertes Problem dar. Es wird vorgeschlagen, zur Vermeidung der dabei auftretenden Schwierigkeiten näherungsweise eine plötzliche Entlastung der plastischen Zone anzunehmen und die Güte der Näherung mittels der leicht errechenbaren elastischen Vergleichsspannung abzuschätzen. Als Beispiel für diese Vorgehensweise dient eine radialsymmetrisch erhitzte Kreisscheibe, bei der auch eine exakte Rechnung möglich ist, so dass die Ergebnisse direkt verglichen und durch numerische Resultate veranschaulicht werden können [17].

Bei Wärmespannungsproblemen werden die Spannungen jedoch durch inhomogene Temperaturfelder hervorgerufen und sind daher keine Funktionen eines Lastparameters, sondern Funktionale der Temperatur. Das Abschalten einer

Wärmequelle ist im Allgemeinen nicht mit schlagartiger Entlastung des plastischen Bereiches verbunden, da die Temperatur nicht überall sofort sinkt, sondern in einiger Entfernung von der Wärmequelle zunächst noch ansteigt und ihr Maximum erst später erreicht. Die Untersuchung des instationären Entlastungsvorgangs ist recht aufwendig, da sie numerisch in kleinen Zeitschritten bis zur vollständigen Entlastung durchgeführt werden muss. Als Beispiel dafür sei die Behandlung des thermischen Fügevorgangs eines elastisch-plastischen Querpressverbandes genannt [18].

Wegen der erwähnten Schwierigkeiten ist eine näherungsweise Berechnung der Restspannungen wünschenswert. Zu diesem Zweck kann man sich an der eingangs geschilderten Vorgehensweise orientieren und eine schlagartige Entlastung des plastischen Bereichs zum Zeitpunkt des Abschaltens der Wärmequelle annehmen. In der praktischen Durchführung bedeutet dies die Subtraktion der fiktiven elastischen Spannungen von den tatsächlich auftretenden elastisch-plastischen Spannungen zum Abschaltzeitpunkt [19].

Natürlich erhebt sich die Frage nach der Zulässigkeit dieses Verfahrens bzw. nach der Brauchbarkeit der auf diese Weise ermittelten Restspannungen. Als Kriterium hierfür bietet sich die elastische Vergleichsspannung an, deren zeitlichen Verlauf man während der Entlastung unschwer verfolgen kann. Da die Entlastung in der Umgebung der Wärmequelle in Wirklichkeit erst nach dem Abschaltzeitpunkt eintritt, überschreitet die elastische Vergleichsspannung dort die Fließgrenze und nimmt erst später ab. Die Güte der Näherung kann dann durch das Verhältnis zwischen der maximal auftretenden Vergleichsspannung und der (als temperaturunabhängig betrachteten) Fließgrenze beurteilt werden: Ist es nur wenig größer als eins, so darf man annehmen, dass die genäherten Restspannungen nicht stark von den wahren abweichen werden. Ehe man sich zur exakten Berechnung der Restspannungen entschließt, sollte man daher mit Hilfe dieses leicht zu handhabenden Kriteriums untersuchen, ob der Aufwand gerechtfertigt erscheint und ob dadurch wesentlich genauere Ergebnisse zu erwarten sind. Die angenäherte Berechnung der Restspannungen wird im Folgenden für eine von einer

kreisringförmigen Wärmequelle konstanter Ergiebigkeit erhitzte elastisch-idealplastische Kreisscheibe durchgeführt [19].

Odquist F. K. schreibt stellt folgende Behauptung auf: außerdem werden die Restspannungen bei Raumtemperatur vorausgesagt. Sowohl plastische Verformungen wie auch Restspannungen in der Matrix sind sehr ungleichmäßig und variieren rasch von den Bereichen in der Nähe der Faserenden zu den -mitten. Die Voraussagen der Zugspannungs-Dehnungseigenschaften stimmen mit den Experimenten quantitativ gut überein. Das Vorhandensein der Restspannungen und lokal verformter Bereiche führte dazu, daß sich Zug- und Druckverhalten unterscheiden Diese Unterschiede sind komplex und hängen vom Volum Anteil und dem Aspekt Verhältnis der Verstärkung ab. Die Analysen ergeben einen ausführlichen Blick in die Verformungsmechanismen dieser Verbundwerkstoffe [18].

Neben der richtigen Wahl der Glühtemperatur und -dauer sind sowohl das Aufheizen als auch das Abkühlen von entscheidender Bedeutung für den Prozesserfolg. Diese beiden Prozessphasen sollten aufgrund der Wärmeleitung im Material entsprechend langsam erfolgen, damit der Temperaturgradient zwischen Bauteiloberfläche und - kern möglichst gering ist. Bei zu hohen Aufheiz- und / oder Abkühlraten können, trotz sachgemäßen Einhaltens der übrigen Verfahrensschritte, gerade bei Bauteilen mit großen Wanddickenunterschieden, neue innere Spannungen auftreten. Raten von maximal 80 K/h garantieren bei Bauteilen mit geringen Querschnittsunterschieden in vielen Fällen ein sehr gutes Ergebnis. Dennoch sind diese Werte im Einzelfall in Abhängigkeit von den Abmessungen und dem Ausgangszustand des zu glühenden Bauteils gesondert festzulegen. Insbesondere Gussstücke mit großen Wanddicken bzw. Wanddickenunterschieden sollten sehr langsam (mit < 30 K/h) erwärmt und abgekühlt werden, um eine gleichmäßige Durchwärmen des gesamten Querschnittes zu realisieren [19].

Eine geregelte Abkühlung im Ofen bis ca. 250 ... 300 °C gewährleistet gleichmäßige Abkühlbedingungen und damit geringere Temperaturgradienten über

den Bauteilquerschnitt. Unterhalb von 250 °C kann im Allgemeinen eine Restabkühlung an ruhender Luft erfolgen [19].

Plastisches Ausziehen

Die Plastizität oder plastische Verformbarkeit beschreibt die Fähigkeit von Stoffen, sich unter einer Krafteinwirkung nach Überschreiten einer Fließgrenze irreversibel zu verformen (zu fließen) und diese Form nach der Einwirkung beizubehalten. Unterhalb der Fließgrenze treten keine oder nur elastische Deformationen auf [19].

Im Gegensatz dazu würde ein elastischer Stoff seine ursprüngliche Form wieder einnehmen und ein spröder Stoff mit sofortigem Versagen reagieren – man spricht von Sprödbbruch, der z. B. bei Keramiken und kubisch-raumzentrierte Metallen bei tiefen Temperaturen auftritt. Fließt ein Stoff unter Krafteinwirkung sofort, nicht erst nach Überschreiten einer Fließgrenze, so spricht man von viskosem Verhalten [19].

Das plastische Verformungsverhalten hängt unter anderem vom Spannungszustand, der Temperatur, der Belastungsart und der Belastungsgeschwindigkeit ab. So kennt man neben der herkömmlichen Plastizität auch die Hochtemperaturplastizität, Kriechverformung und Superplastizität [21].

Mikroskopisch wird die plastische Verformung von kristallinen Festkörpern (Metallen) anhand der Versetzungstheorie beschrieben. Aus energetischen Gründen ist es günstiger, einzelne Defekte (Versetzungen) durch den Festkörper zu treiben, anstatt sämtliche Atomreihen gleichzeitig zu bewegen. Gemeinhin wird hier der Vergleich zu einem großen, langen Teppich herangezogen, den man um ein Stück bewegen will. Es würde enorm viel Kraft kosten, den ganzen Teppich auf einmal zu ziehen – stattdessen kann man eine kleine Falte mühelos durchschieben [20].

Dickwandiger Zylinder

Für isotrope, plastisch kompressible Werkstoffe werden elastisch-plastisch beanspruchte dickwandige Zylinder- und Kugelbehälter unter Innen- und

Außendruck untersucht. Ausgehend von einem Potentialansatz wird eine analytisch geschlossene Lösung für Spannungen und Eigenspannungen und ein Differenzenverfahren für die Dehnungen angegeben. Die Ergebnisse der numerischen Rechnungen zeigen, dass das Fließverhalten dickwandiger Behälter im plastisch kompressiblen Fall vom statischen Druckniveau abhängig ist. Bei steigendem Innendruck kann der plastisch kompressible Behälter je nach Wahl der Einflussgrößen höhere Druckbelastungen ertragen als im inkompressiblen Fall, während bei steigendem Außendruck die Versagensgrenze auf jeden Fall schon bei geringeren Drücken erreicht wird. Weiterhin zeigen die Rechnungen, dass die Hohlkugel höheren Druckbelastungen standhält als ein Hohlzylinder mit gleichem Radien Verhältnis. Eine Untersuchung der Eigenspannungen zeigt, dass bei der Entlastung nach vorangegangener teilplastischer Belastung die Fließgrenze erneut erreicht werden kann. Hierdurch werden extrem hohe Spannungsspitzen im Bereich der Innenwand abgebaut. Der Kompressibilität Einfluss führt dazu, dass bei gleicher Druckbelastung der Fließbeginn während des Entlastungsvorgangs schon bei geringerer teilplastischer Belastung erreicht wird [20].

Die Vertragsbedingungen schreiben meistens genau vor, welche Löcher zu stanzen, welche vorzutanzen und aufzureiben oder welche zu bohren sind. Bei Hochbaukonstruktionen und untergeordneten Brückenbauteilen können bis zu einer bestimmten Materialstärke die Löcher sofort auf den endgültigen Durchmesser gestanzt werden. Es ist erforderlich, eine Höchstgrenze für die bei diesem Verfahren zugelassene Materialstärke festzusetzen, weil stärkeres Material beim Stanzen an den Lochrändern beschädigt wird, außerdem werden bei größeren Stärken die Stanzstempel brechen. Im Brückenbau werden die Löcher der Haupttragteile und Anschlüsse im allgemeinen auf einen kleineren Durchmesser vorgestanzt, um dann auf den vorgeschriebenen Lochdurchmesser aufgerieben zu werden. Zuweilen wird das Aufreiben der Löcher auch für die untergeordneten Teile vorgeschrieben. Bei größeren Materialstärken ist es notwendig, die Löcher zu bohren, was zwar teurer als Stanzen und Aufreiben ist, aber das beim Stanzen, wie bereits erwähnt, unvermeidliche Beschädigen des Materials am Lochrande von vornherein

vermeidet. Dieses beim Vorstanzen der Löcher in Mitleidenschaft gezogene Material wird beim Aufreiben entfernt. Da das Aufreiben an der zusammengebauten Konstruktion geschieht, ergeben sich durchgehend glatte Lochwandungen, während die einzeln gebohrten und dann ohne Aufreiben zusammengebauten Teile nicht so gut passende Löcher aufweisen. Die beim Glühen ablaufenden Fließ- und Kriechprozesse benötigen Zeit und laufen bei höheren Temperaturen schneller ab. Glühtemperatur und Glühdauer bilden daher immer eine Einheit, d. h., dass eine geringere Glühtemperatur eine längere Glühdauer erfordert, um den gleichen Spannungsabbau zu realisieren. Überschlüssig lässt sich die Haltezeit bei Glühtemperatur mit ca. 1 - 2 min je mm der maximalen Wanddicke festlegen. Je niedriger also die zulässigen Restspannungen, desto höhere Glühtemperaturen innerhalb des optimalen Bereiches werden für den Spannungsabbau benötigt [20].

Der in Abb. 1 skizzierte dickwandige Zylinder mit den Anfangsabmessungen a_0 und b_0 werden durch inneren Überdruck p_0 teilweise plastiziert (Gebiet I), während im Gebiet II die Fließgrenze noch nicht erreicht sei. Allgemeiner ausgedrückt: zum Zeitpunkt $t = 0$ liegt ein Zylinder vor mit unterschiedlichem Werkstoffverhalten in den Gebieten I und II. Die Trennfläche dieser Gebiete ist durch C_0 gekennzeichnet. Falls z. B. das Gebiet I zum Zeitpunkt $t = 0$ starrplastisch und das Gebiet II linearelastisch ist, kann C_0 in Abhängigkeit von p_0 in bekannter Weise ermittelt werden [21].

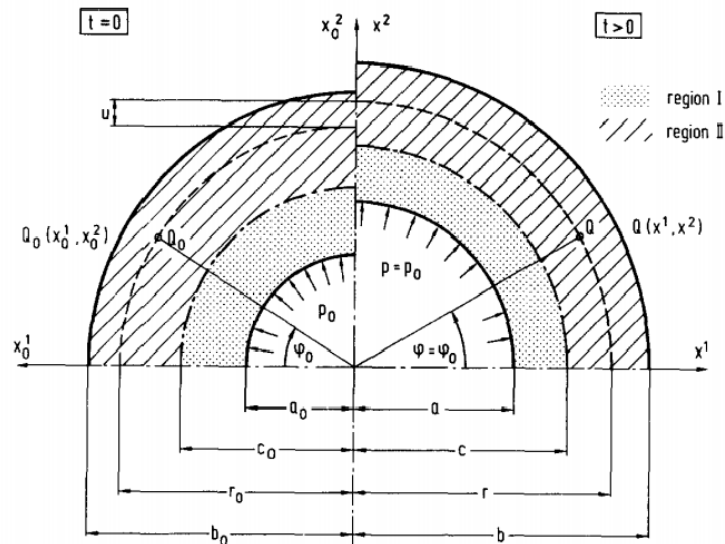


Abbildung 1 - Dickwandiger Zylinder unter Innendruckbelastung;
Nomenklatur.

Infolge Kriechens unter konstantem Innendruck $p = p_0$ wird ein beliebiges Teilchen, das sich zum Zeitpunkt $t = 0$ an der Stelle Q_0 befindet, zum Zeitpunkt $t > 0$ die Lage Q einnehmen, während Innenradius, Außenradius und Trennfläche auf $a = a(t)$, $b = b(t)$ und $c = c(t)$ anwachsen. Dieser Bewegungsvorgang kann körperbezogen oder raumbezogen beschrieben werden, z. B. in rechtwinkligen kartesischen Koordinaten [21].

Darin sind die körperbezogenen Koordinaten durch den Kernbuchstaben x_0 und lateinische Indizes, die raumbezogenen durch den Kernbuchstaben x und griechische Indizes gekennzeichnet. Die Beschreibungsart ist eine duale Form von und umgekehrt, d. h., die eine Art geht durch Vertauschen von Kernbuchstaben und Indizes aus der anderen hervor [21].

Mack W. schreibt möchte zeigen, dass eine Folge das Gebiet der Physik ist, das sich mit den Eigenschaften der Stoffe und ihren Umwandlungen im Bereich hoher Drücke befasst. Hohe statische Drücke werden in dickwandigen Zylindern aus Stahl oder Speziallegierungen erzeugt, indem mittels hydraulischen Pressen gehärtete Kolben in die Zylinder gepresst werden. Der Druckraum ist mit Öl, Isopentan, Blei oder Indium gefüllt. Mittels besonderer Techniken erreicht man so

Drücke bis durch intensive Laserstrahlung) dynamische Drücke bis über 1012 Pa erzeugen. Die Hochdruckphysik brachte viele neue Erkenntnisse, sie ermöglichte unter anderem die Synthese von Diamanten [21].

Zusammenfassung

Es sind folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

1. Die Plastizität oder plastische Verformbarkeit beschreibt die Fähigkeit von Stoffen, sich unter einer Krafteinwirkung nach Überschreiten einer Fließgrenze irreversibel zu verformen (zu fließen) und diese Form nach der Einwirkung beizubehalten. Unterhalb der Fließgrenze treten keine oder nur elastische Deformationen auf.

2. Im Einzelnen werden die zeitliche Aufweitung, d. h. Innen- und Außenradius, die Trennfläche zwischen den beiden Gebieten, das Spannungs- und Geschwindigkeitsfeld als Zeitfunktionen und die Versagenszeit berechnet [7].

3. Die Glättung der Bohrungen des dickwandigeren Zylinders ist einer der rationalsten Methoden ihrer Verarbeiteten. Zum Vorteil der Glättung gehört die Hochleistung. Auch sie ermöglicht die Präzision der Bohrungen erreichen und geringe Unebenheit davontragen.

Приложение Б

Комплект конструкторской документации